



Mémoire

présenté par

DROSS CAMILLE

Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement

Mention ERM

Spécialité « De l'Agronomie à l'Agroécologie »

Impact de plantes aromatiques associées à la tomate sur les populations d'aleurodes *Bemisia tabaci*

Pour l'obtention du diplôme de Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement

Enseignant responsable du stage : ROGER-ESTRADE Jean

Maître de stage : RHINO Béatrice

Soutenu le 28 juin 2012

Engagement de non plagiat

1 Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

2 Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

3 Sanction : En cas de manquement à ces consignes, le département SIAFEE se réserve le droit d'exiger la réécriture du document, dans ce cas la validation de l'Unité d'Enseignement ou du diplôme de fin d'études sera suspendue.

4 Engagement :

Je soussigné (e) Camille Dross
Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

Au Lamentin le 20 juin 2012
Signature :

C. Dross

Cet engagement de non plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.

Remerciements

Je tiens à remercier l'équipe pédagogique d'Agroparistech ainsi que toute l'équipe du PRAM (Pôle de Recherche Agro-environnementale de la Martinique), grâce à qui mon stage s'est déroulé dans les meilleures conditions. Ma reconnaissance va plus particulièrement aux personnes citées ci-dessous :

- Je voudrais tout d'abord exprimer ma gratitude à Béatrice Rhino, ma maître de stage, pour le temps qu'elle m'a consacré tout au long de ce stage, pour sa disponibilité, pour son soutien, pour ses conseils et suggestions, pour l'aide qu'elle a apportée à la rédaction de ce mémoire ;

- A Catherine Thibaut, qui a eu la responsabilité de gérer la mise en place sur le terrain du dispositif expérimental. Je la remercie très chaleureusement pour m'avoir fait partager ses connaissances, pour ses conseils, sa bonne humeur et bien sûr pour tout le travail effectué ;

- A Philippe Ryckewaert, pour son expertise entomologique et ses passionnantes explications ;

- A Alain Pelage et Aude Verchère pour leur aide précieuse sur le terrain comme au laboratoire ;

- A mon tuteur pédagogique Jean Roger-Estrade pour ses conseils ;

- A l'équipe administrative du CIRAD Martinique, notamment Evelyne Kilota pour sa disponibilité.

Résumé

L'aleurode du tabac *Bemisia tabaci* est l'un des ravageurs les plus dévastateurs au niveau mondial. Il est notamment le vecteur de nombreux virus de la tomate, et cause régulièrement des dégâts importants sur les cultures de tomate en Martinique. Des méthodes de défense non chimiques sont à développer, la piste privilégiée ici est l'introduction de diversité culturale par l'implantation de bordures de plantes aromatiques : gros-thym (*Plectranthus amboinicus*) ou basilic (*Ocimum basilicum*).

L'objectif principal de l'étude consiste à évaluer l'impact du gros-thym et de trois cultivars de basilic, cultivés en association avec la tomate sur l'infestation des tomates par *Bemisia tabaci*. L'objectif secondaire vise à expliquer l'impact observé et consiste à évaluer l'attractivité relatives des plantes en présence.

Un dispositif split-plot à trois blocs et deux facteurs (la plante aromatique associée et la distance à la bordure) a été mis en place en champ. Chaque bloc contient six sous-blocs ou demi-parcelles de tomate. Les observations se sont faites par dénombrement des larves sur les parcelles de tomate. Un test de choix entre les cinq plantes considérées a été mis en place en milieu contrôlé pour remplir l'objectif secondaire.

Les tomates jusqu'à 1m80 d'une rangée de l'un des cultivars de basilic, le basilic cannelle étaient significativement moins infectées que les tomates en monoculture. Aucun effet n'a été détecté pour les autres plantes aromatiques. Le test de choix a permis de déterminer que le basilic cannelle est plus attractif pour les aleurodes que les autres plantes aromatiques testées, mais reste beaucoup moins attractif que la tomate.

Une étude similaire menée en 2011 avait conduit à des résultats différents, et n'avait notamment pas permis de détecter de réduction de l'infestation sur les tomates en association avec le basilic cannelle par rapport aux tomates en monoculture. Des expériences complémentaires pourraient permettre de mieux comprendre dans quelles conditions une bordure de basilic cannelle peut contribuer à limiter les populations d'aleurode du tabac.

Mots clés : *Bemisia tabaci*, *Solanum lycopersicum*, *Ocimum basilicum*, *Plectranthus amboinicus*, association de cultures.

Summary

The sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* is one of the world's most destructive pests. In Martinique it is known to transmit several tomato diseases, thus inflicting severe losses. Non-chemical control methods must be developed, here we focus on the introduction of cultural diversity through the establishment of aromatic plant borders. Four aromatic plants have been chosen: *Plectranthus amboinicus* and three basil (*Ocimum basilicum*) cultivars.

This study's first objective is to assess the impact of associated basil or *Plectranthus amboinicus* on the abundance of *Bemisia tabaci* in tomato plots. The secondary objective is to assess the five plants' relative attractiveness to *Bemisia tabaci*.

A split-plot design with three plots and two factors was used in a field experiment. The whole plot factor is the associated species or cultivar (it has five levels: one for each species or cultivar, and one to indicate the subplot is not associated); the subplot factor is the distance to the aromatic border. The whitefly abundances in the tomato subplots were assessed by larva counts. A greenhouse free-choice test was set up to assess the five plants' relative attractiveness.

Cinnamon basil (one of the basil cultivars tested) reduced significantly the abundance of *Bemisia tabaci* larva up to 1.8 meters away. No other aromatic plant had any significant impact. The free-choice test showed that *Bemisia tabaci* found this basil cultivar more attractive than any other aromatic plant tested, but that they still preferred tomato.

A similar study carried out in 2011 did not reach the same conclusions. In particular they did not detect any difference between larva abundances in tomatoes intercropped with cinnamon basil and larva abundances in monocropped tomato. Further research is needed to understand how and when cinnamon basil can be used for *Bemisia tabaci* population control.

Keywords : *Bemisia tabaci*, *Solanum lycopersicum*, *Ocimum basilicum*, *Plectranthus amboinicus*, intercropping.

Sommaire

Engagement de non plagiat.....	2
Remerciements.....	3
Résumé/summary	4
Sommaire.....	5
Table des illustrations.....	6
Introduction.....	7
Partie A : Revue bibliographique.....	9
I La bioécologie de l'aleurode du tabac <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius 1889).....	9
II Gestion usuelle de l'aleurode du tabac	11
III Vers une meilleure prise en compte de la diversité culturelle : utilisation de cultures associées (intercropping) pour la gestion de l'aleurode	13
Partie B : Matériel et méthodes	19
I. Matériel végétal utilisé	19
II. Evaluation des populations de <i>B. tabaci</i> sur tomate en fonction de la plante aromatique associée et de la distance à la bande aromatique	21
III. Evaluation en champ de l'attractivité relative des plantes aromatiques	23
V. Analyse des données.....	25
Partie C : Résultats	27
I. Données manquantes ou inexploitable.....	27
II. Impact d'une bordure de plantes aromatiques sur les populations de larves	27
III. Attractivité relative de la tomate et des quatre plantes aromatiques.....	29
Partie D : Discussion.....	31
Bibliographie	36
Annexes.....	41

Table des illustrations

Figure 1 : Cycle de vie de <i>Bemisia tabaci</i> biotype B sur tomate à 28 °C.....	10
Figure 2 : Schéma représentatif du dispositif d'évaluation de l'infestation de <i>B. tabaci</i> en fonction des plantes aromatiques associées.....	20
Figure 3 : Schéma explicatif du dispositif d'évaluation de l'attractivité des plantes aromatiques.....	22
Figure 4 : Schéma d'un bloc du dispositif d'évaluation sous serre de l'attractivité des espèces et cultivars utilisés.....	24
Figure 5 : Infestation moyenne en larves et erreurs standards sur des tomates seules ou en association avec l'une des plantes aromatiques.....	26
Figure 6 : Comparaison de l'infestation sur tomates seules et sur tomates en association avec du basilic cannelle selon la date, le bloc ou la distance à la bordure.....	28
Figure 7 : Moyennes et erreurs standards des densités surfaciques en œufs mesurées pour chaque date (ou chaque bloc) sur chaque espèce ou cultivar dans le test de choix.....	30
Figure 8 : Moyenne et erreurs standards des densités surfaciques mesurées sur chaque espèce ou cultivar dans le test de choix.....	30
Figure 9 : Vérification de l'homoscédasticité des résidus ..	42
Figure 10 : Réponse du logiciel pour l'analyse de la déviance du modèle de quasi-poisson complet.....	43
Figure 11 : Réponse du logiciel pour l'analyse de la déviance du modèle de quasi-poisson simplifié.....	43
Figure 12 : Réponse du logiciel pour l'estimation des paramètres du modèle de quasi-poisson simplifié ..	44
Photographie 1 : feuille d'un plant de tomate virosé.....	10
Photographie 2 : Basilic anis (noté B1) en fleurs.....	18
Photographie 3 : Basilic citron (noté B2) en fleurs.....	18
Photographie 4 : Basilic cannelle (noté B3) en fleurs	18
Photographie 5 : Gros-thym.....	18
Tableau 1 : Estimation des coefficients du modèle de poisson simplifié, avec les niveaux de significativité (<i>p-values</i>) associés.....	26
Tableau 2 : Moyennes et erreurs standards des densités surfaciques en œufs mesurées pour chaque date (ou chaque bloc) sur chaque espèce ou cultivar dans le test de choix.....	28
Tableau 3 : Pluviométrie mensuelle à proximité des sites d'expérimentation dans les mois qui ont précédé l'expérimentation ainsi que pendant l'expérimentation.....	45
Tableau 4 : Vitesse maximale du vent à proximité des sites d'expérimentation dans les mois qui ont précédé l'expérimentation ainsi que pendant l'expérimentation	45

Introduction

En Martinique, la production de tomates ne suffit pas à la consommation, et la Martinique doit en importer de grandes quantités : selon la chambre d'agriculture (Anon., 2008), la Martinique a importé entre 260 et 455 tonnes de tomates par an entre 2004 et 2007. Pourtant, le surface cultivée en tomate n'augmente pas, au contraire elle a été réduite de 100 hectares (sur 340) entre 2009 et 2010 (fao.org). Cette diminution est la conséquence des baisses de rendement dues à un complexe de bioagresseurs : le flétrissement bactérien (une maladie tellurique causée par la bactérie *Ralstonia solanacearum*) et l'aleurode du tabac *Bemisia tabaci*.

Reconnu comme l'un des ravageurs globalement les plus dévastateurs (IUCN Species Survival Commission's Invasive Species Specialist Group), *B. tabaci* est un ravageur cosmopolite largement répandu dans le monde et extrêmement polyphage (près de 100 pays colonisés sur les cinq continents hors Antarctique et plus de 250 plantes hôtes selon Evans (2007)). Il est responsables de dégâts importants notamment sur le coton ainsi que sur un grand nombre de cucurbitacées comme le melon, de solanacées et de légumineuses comme le soja ou le haricot (Oliveira et al., 2001).

Particulièrement actif sous serres ou en région tropicale, cet homoptère piqueur-suceur se nourrit en ponctionnant du liquide intracellulaire par piqûre des feuilles. Par ses prises alimentaires il entraîne un affaiblissement des plantes, le miellat qu'il sécrète favorise le développement de fumagine (ce mycélium dense et noir recouvre alors feuilles et fruits, provoquant une diminution de la photosynthèse et une souillure du fruit), et surtout il est par sa piqûre le vecteur de nombreux virus (photographie 1), en particulier du virus persistant TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curl Virus) (Fraval et al.). Si l'infection est précoce, le TYLCV peut causer la perte de la totalité de la récolte (Moriones and Navas-Castillo, 2000).

Les techniques de lutte actuelles font souvent appel à des traitements insecticides réguliers (Anon., 2003). L'efficacité de ces traitements est limitée par l'apparition de résistances chez *B. tabaci* (Palumbo et al., 2001), et les conséquences environnementales et de santé publique ne sont pas maîtrisées. Des méthodes de lutte alternative sont donc à mettre au point.

Des pratiques très diverses peuvent contribuer au contrôle de *B. tabaci* (Hilje et al., 2001). Dans cette étude, le choix a été fait de tenter de mieux prendre en compte la diversité culturelle par l'utilisation de cultures associées à la tomate. Des plantes aromatiques ont été choisies comme plantes associées parce que de telles plantes ont souvent une forte valeur ajoutée, parce que la sagesse populaire les conseille souvent comme "plantes compagnes", et parce qu'ayant été choisies au cours de l'histoire pour leur saveur ou leur odeur, elles sont plus que les autres plantes susceptibles de dégager une odeur capable de perturber le comportement des aleurodes.

Des observations rapportées par les techniciens de la SECI (Station d'Essai en Cultures Irriguées) de Sainte-Anne ont permis d'identifier des espèces susceptibles de perturber le comportement des aleurodes : le gros-thym (*Plectantrus amboinicus*) et plusieurs cultivars de basilic (*Ocimum basilicum* L.). Un essai sur le site de la SECI (Momperousse, 2011) a montré que :

- La présence d'une bordure de basilic cannelle, de basilic citron, de basilic anis ou de gros thym a eu dans les conditions de l'expérimentation (vertisols...) un impact significatif sur le nombre de larves par feuille sur les plants de tomates à proximité (au moins jusqu'à 1 mètre) de la bordure.
- Cet impact était négatif pour le gros thym, le basilic anis et le basilic citron (il y avait plus de larves sur les tomates seules que sur les tomates en association avec ces trois plantes), non significatif pour le basilic cannelle.

Il est important de valider ces résultats dans d'autres conditions pédoclimatiques et d'apporter des résultats complémentaires permettant d'expliquer l'impact observé.

Questions de recherche :

- Quel est dans d'autres conditions l'impact du gros-thym et de trois cultivars de basilic, cultivés en association avec la tomate, sur les populations de larves de *B. tabaci* sur les feuilles de tomate, en fonction de la distance à la plante aromatique associée ?
- Quelle est l'attractivité relative du gros thym, de la tomate et des trois cultivars de basilic pour *B. tabaci*, en plein champ et en milieu contrôlé ?

Partie A : Revue bibliographique

I La bioécologie de l'aleurode du tabac *Bemisia tabaci* (Gennadius 1889)

Classe : Insecta, **Ordre :** Homoptera, **Sous-ordre :** Sternorrhyncha, **Super-famille :** Aleyrodoidea, **Famille :** Aleyrodidae **Genre :** *Bemisia*

De nombreuses populations (appelées biotypes), dont le comportement et les paramètres biologiques diffèrent, coexistent au sein du taxon *Bemisia tabaci*. La question de savoir si ces populations appartiennent à la même espèce est l'objet d'un débat dans la communauté scientifique (Xu et al., 2010). Quoi qu'il en soit, les aleurodes du tabac présentes dans les Antilles appartiennent au « biotype » B, anciennement appelé *Bemisia argentifolii*.

1. Cycle et biologie de l'aleurode du tabac

Au cours du développement de *B. tabaci*, on distingue quatre stades larvaires (notés L1 à L4). Seul le premier stade larvaire est mobile. Les larves se nourrissent comme les adultes, mais cessent de s'alimenter pendant la deuxième partie du stade L4. La figure 1 résume le cycle de vie de l'aleurode. La durée de développement dépend de la température (Wang and Tsai, 1996; Qiu et al., 2003), ainsi que, dans une moindre mesure, de la plante hôte (Tsai and Wang, 1996) et du biotype considéré (Muñiz and Nombela, 2001). En 2011 la température moyenne annuelle en Martinique était de 27°C selon MétéoFrance (Anon., 2012a). On s'attend donc à des durées de développement larvaire (œuf à adulte) de l'ordre d'une vingtaine de jours et à des longévités des adultes de l'ordre d'une quinzaine de jours (Yang and Chi, 2006).

En Martinique, les températures permettent le déroulement du cycle tout au long de l'année, les cycles des différents individus ne sont donc pas synchronisés : on peut observer en même temps des représentants de tous les stades du développement (P. Ryckewaert, observations préliminaires). Cependant d'autres facteurs climatiques comme le vent ou la pluviométrie sont des facteurs limitants : le vent contribue à la dispersion des adultes, et un fort vent ou une pluie importante entraînent un décrochement des œufs et des larves (Castle et al., 1996; Byrne, 1999; Naranjo and Ellsworth, 2005).

B. tabaci est haplo-diploïde, les femelles non fécondées sont parthénogénétiques et leurs descendants sont uniquement masculins (Salas and Mendoza, 1995). Sur tomate, à 28°C et pour le biotype B, Yang et Chi (2006) ont observé une fécondité de 109 œufs par femelle.

En conditions naturelles, *B. tabaci* est soumise à une pression importante du niveau trophique supérieur ; en Martinique, Ryckewaert et Alauzet (2002) ont observé une espèce de champignon pathogène et de nombreuses espèces de prédateurs et parasitoïdes, parmi lesquels :

- Trois espèces de punaises mirides. Ces punaises consomment des larves d'aleurode en les piquant avec leur rostre. Elles peuvent aussi se nourrir de pucerons. En l'absence de proies, elles se tournent occasionnellement vers un régime phytophage et sucent la sève des plantes (Ryckewaert, 1998a). Elles ne semblent cependant pas causer de dégâts importants aux cultures de tomate (Ryckewaert and Alauzet, 2002).
- De nombreuses espèces d'araignées qui s'attaquent aux adultes *Bemisia tabaci*. Les plus grosses tissent une toile qui leur permet de prendre au piège des aleurodes ou d'autres insectes volants. Les plus petites chassent directement (Ryckewaert and Alauzet, 2002).
- Plusieurs espèces de guêpes parasitoïdes qui pondent dans les larves de *Bemisia tabaci*.
- Deux espèces de guêpes hyperparasites, qui peuvent aussi se comporter comme des parasitoïdes primaires.



Photographie 1 : feuille d'un plant de tomate virosé.

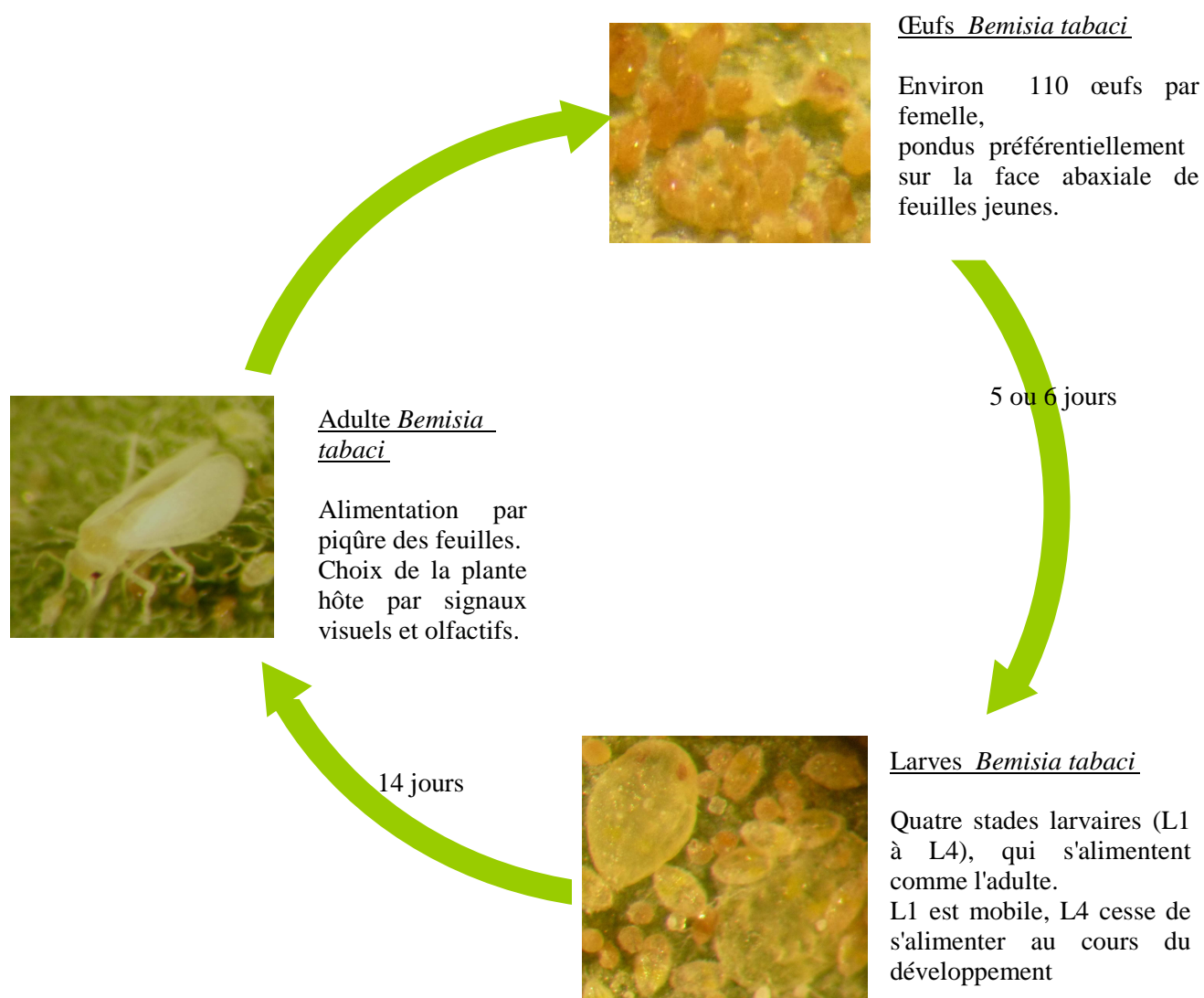


Figure 1 : Cycle de vie de *Bemisia tabaci* biotype B sur tomate à 28 °C (Yang and Chi, 2006).

2. Dispersion et choix de la plante hôte

Comme *B. tabaci* peut se nourrir sur les lieux de ponte, peu d'articles distinguent le choix du site d'alimentation du choix du site de ponte.

Si un petit pourcentage des aleurodes présente un comportement migratoire (Byrne, 1999), la grande majorité se déplace suivant le schéma de recherche de plantes hôtes suivant : en l'absence de plante hôte adéquate, les aleurodes se déplacent dans le sens du vent, à une vitesse de l'ordre de 15 à 20 cm/s, non corrélée avec la vitesse du vent. Dès qu'elles perçoivent une plante hôte potentielle, elles volent vers cette plante hôte à une vitesse de 20 cm/s (Isaacs et al., 1999).

Le choix de la plante hôte semble se faire en trois étapes, théorisées par Finch et al (2003) pour les ravageurs des crucifères.

- Etape 1 : Vers où se diriger et quand se poser ?

La perception à distance de la plante-hôte se fait pour les ravageurs des crucifères grâce à des signaux olfactifs (Finch et al., 2003). Les aleurodes sont capables de reconnaître l'odeur spécifique de plantes et de se diriger (ou non) selon un gradient de volatiles (Bleeker et al., 2009; Togni et al., 2010). Les choix de plantes-hôtes semblent d'ailleurs être les mêmes en l'absence de signaux visuels (Bleeker et al., 2009). Il semble que l'odeur spécifique reconnue par les insectes soit due aux proportions relatives des principaux composants plutôt qu'à un composant particulier (Bruce et al., 2005), néanmoins Bleeker et al. (2009) ont montré que *B. tabaci* est repoussée par certains composés spécifiques : les sesquiterpènes zingibérène et curcumène et les monoterpènes p-cymène, alpha-terpinène, et alpha-phellandène.

- Etape 2 : Où se poser ?

Toujours selon Finch et al. (2003), une fois que les signaux olfactifs ont induit la décision d'atterrir, l'insecte se pose dans son champ de vision immédiat en s'aidant de signaux visuels. Les aleurodes sont ainsi attirées très fortement attirées par la couleur jaune ou par certains verts clairs (Mound, 1962; Chu et al., 2000; Saleh et al., 2010), et la force de cette attraction dépend de la forme du signal coloré (des ronds jaunes sont plus attractifs que des rectangles de la même couleur, (Kim and Lim, 2011)). Bien que Mound (1962) signale une attractivité des très courtes longueur d'onde (ultra-violet), qu'il associe au comportement migratoire de l'aleurode ; les couleurs bleu, violet visible et vert foncé ne semblent pas attractives (Chu et al., 2000; Saleh et al., 2010).

- Etape 3 : Rester ou décoller de nouveau ?

Après atterrissage sur la plante, la ponte, la prise de nourriture et la durée de séjour de l'aleurode dépendent de la qualité de la plante hôte choisie ainsi que des plantes environnantes (Bernays, 1999). Une corrélation négative entre le nombre de trichomes glandulaires et le comportement de ponte a par exemple été montrée (Oriani and Vendramin, 2010). Les œufs sont déposés en priorité sur des feuilles jeunes, situées le plus haut possible sur la plante, et presque uniquement sur la face abaxiale (Liu and Stansly, 1995).

II Gestion usuelle de l'aleurode du tabac

1. Méthodes communément utilisées

- Lutte chimique et gestion des résistances

Selon Palumbo et al. (2001) la lutte chimique contre l'aleurode s'appuie notamment sur des insecticides neurotoxiques, principalement de la famille des nicotinoïdes comme l'imidaclopride et sur des régulateurs de croissance non neurotoxiques (Insect Growth Regulator) comme la buprofezin ou le pyriproxifen. Les nicotinoïdes, supposés peu dangereux pour les mammifères, ont une grande solubilité dans l'eau (ils sont donc susceptibles d'être emportés par lessivage) et sont toxiques pour un spectre d'insectes assez large (des insectes très différents de la cible peuvent être tués).

Le recours massif à ces produits a induit l'apparition de résistances (Palumbo et al., 2001; Gorman et al., 2010). Des méthodes de gestion des résistances sont mises en place pour freiner l'apparition et la diffusion de gènes de résistance (Palumbo et al., 2001), et de nouveaux insecticides sont à l'étude pour prendre le relai (Babcock et al., 2011).

Les conséquences sanitaires et environnementales de ce type de lutte ne sont pas maîtrisées.

- Lutte biologique par inondation

Un effort de recherche a été déployé depuis les années 1970 pour mettre au point des méthodes de lutte biologique contre *B. tabaci*. Plus de 100 prédateurs issus de cinq ordres et près de 50 hyménoptères parasitoïdes ont ainsi été identifiés ; et des méthodes de lutte par lâcher de parasitoïdes comme *Encarsia formosa*, *Eretmocerus eremicus* ou *Eretmocerus mundus*) et/ou de prédateurs comme *Macrolophus caliginosus* sont disponibles dans le commerce et massivement utilisées sous serre (Gerling et al., 2001). Néanmoins, les résultats en champs ne sont pas aussi satisfaisant, et le coût est prohibitif.

- Mesures préventives

De plus en plus, des mesures préventives sont préconisées pour éviter l'infestation. Hilje et al. (2001) proposent une classification de ces mesures basée sur les mécanismes biologiques ou écologiques mis en jeu. Ils distinguent ainsi, entre autres :

- Les pratiques basées un décalage temporel entre culture et pics d'abondance du ravageur (en anglais avoidance in time). L'instauration de périodes sans cultures hôtes, l'aménagement des dates de semis et la destruction des résidus de culture sont ainsi des pratiques bien acceptées (Ellsworth and Martinez-Carrillo, J-L, 2001; Hilje et al., 2001).
- Les pratiques visant à limiter l'accès du ravageur à la culture (avoidance in space).
- Les pratiques visant à donner les moyens à la culture de se protéger elle-même (host suitability modification).
- Les pratiques qui visent à perturber le comportement du ravageur (behavioral manipulation).

Certaines pratiques font intervenir plus d'un de ces mécanismes, ainsi l'utilisation de culture associée, ou en anglais intercropping, peut limiter l'accès à la culture ou perturber le comportement du ravageur.

2. Méthodes mises en œuvre en Martinique

En Martinique, la FREDON (Fédération Régionale de Défense contre les Organismes nuisibles) recommande des mesures prophylactiques et chimiques : faire attention à planter des jeunes plants non contaminés, limiter l'enherbement, ne pas choisir pour une nouvelle culture une parcelle sous le vent d'une culture à risque, brûler après récolte les résidus de culture, faire des rotations avec des cultures non hôtes... mais aussi appliquer des traitements chimiques réguliers en veillant à alterner des substances adulticides comme la pymétozine avec des substances larvicides comme la deltaméthrine (Anon., 2003). Cela ne donne néanmoins pas de résultats très satisfaisants, et l'utilisation de substances toxiques a un coût environnemental important.

III Vers une meilleure prise en compte de la diversité culturelle : utilisation de cultures associées (intercropping) pour la gestion de l'aleurode

On appelle association de cultures ou intercropping le fait de cultiver plus d'une espèce sur la même parcelle (Vandermeer, 1989). La présence dans la parcelle d'une seconde espèce cultivée a un impact potentiellement important mais très variable sur l'abondance des populations de ravageurs et les dégâts occasionnés (Andow, 1991).

L'intercropping était la norme jusqu'à la révolution industrielle et est encore massivement utilisé en Afrique, en Asie du Sud-est et en Amérique latine (Vandermeer, 1989). Les pratiques qui y ont recours connaissent un regain d'intérêt depuis une quinzaine d'années.

1. Mécanismes écologiques mis en œuvre

Les deux types de mécanismes écologiques mis en jeu sont les suivants :

- Effet top-down : On appelle effet top-down l'influence du niveau trophique supérieur sur le niveau trophique inférieur (régulation par prédation, parasitisme...). Cette régulation est modifiée par la présence de la culture associée. La seconde espèce cultivée peut en effet constituer un habitat pour les ennemis naturels des ravageurs ou pour les proies/hôtes alternatifs. L'hypothèse dite des ennemis naturels (Root, 1973; Russel, 1989) postule que la régulation naturelle est plus efficace dans des systèmes complexes que dans des systèmes simples.
- Effet bottom-up : On appelle effet bottom-up l'influence du niveau trophique inférieur sur le niveau trophique supérieur. Les plantes présentes dans la parcelle ont toutes un impact sur les ravageurs (herbivores). Leur comportement dépend des signaux visuels et olfactifs émis par les plantes présentes, leur développement et leurs capacités reproductives dépendent de la qualité et de la disponibilité des plantes hôtes.

Les signaux émis par des plantes hôtes au sein d'une polyculture pourraient ainsi être moins clairs que ceux émis au sein d'une monoculture, rendant alors plus longue et difficile la recherche de plante hôte. C'est ce que suppose l'hypothèse de concentration des ressources (resource concentration hypothesis), décrite par Root (1973) pour expliquer les fortes populations d'herbivores observées sur des cultures de choux fourragers. Cette hypothèse, très couramment citée, englobe les hypothèses de camouflage olfactif ou visuel (camouflage visuel : compétition entre les stimuli visuels de la plante hôte et ceux des plantes qui l'entourent, camouflage olfactif : difficulté pour l'insecte à reconnaître l'odeur de la plante hôte au sein d'un mélange d'odeurs ; (Finch and Collier, 2000).

Les signaux olfactifs et/ou visuels émis par la plante associée pourraient perturber le comportement des ravageurs, par exemple en les attirant ou en les repoussant.

2. Types d'association et techniques utilisant l'intercropping pour la gestion de ravageurs aériens

On distingue généralement quatre catégories d'association (Vandermeer, 1989) :

- L'association mixte (mixed intercropping) : culture simultanée de plusieurs espèces au sein d'une même parcelle sans organisation particulière.
- L'association en rangs (row intercropping) : si l'une au moins des espèces cultivées est organisée en rangs. (La seconde espèce cultivée peut alors être plantée en bordure de parcelle ou intercalée entre les rangées.)
- L'association en bandes (strip intercropping) : utilisation de bandes cultivées suffisamment proches pour qu'il y ait interaction entre elles.
- L'association dite de relai (relay intercropping) : Les cultures n'occupent simultanément la parcelle que de façon temporaire, pendant une partie du cycle de vie de chacune. (Par exemple si une nouvelle culture est semée avant que la précédente n'ait été retirée de la parcelle).

Plusieurs techniques de gestion des ravageurs font appel à l'intercropping. Par exemple :

- Les cultures-pièges (trap-crop) : culture de plantes plus attractives que la culture principale pour le ravageur visé (Vandermeer, 1989). Une bonne plante-piège doit fonctionner comme un puits pour les ravageurs : ces derniers doivent se concentrer dans la plante-piège et ne doivent pas disperser vers la culture principale (Shelton and Badenes-Perez, 2006). Dans le cas de la tomate et de *B. tabaci*, la courge, l'aubergine, les haricots verts ont tous été proposés comme plantes-pièges et le concombre, très attractif, est utilisé couramment au Soudan et dans des pays du Moyen-Orient (Hilje et al., 2001).

- Les cultures-appâts : culture de plantes susceptibles d'attirer et de faciliter le développement d'ennemis naturels du ravageur visé (Stoll, 2002).
- Les cultures-barrières (barrier-crop) : plantes cultivées en bordure de parcelle et censées empêcher l'accès du ravageur à sa plante hôte (Ferreira, 2000).
- Les plantes de couvertures (cover crop) : Il s'agit de planter la culture principale sous une couverture végétale plantée précédemment. Des ravageurs aériens peuvent alors avoir plus de mal à trouver leur plante hôte. Dans le cas de la tomate et de *B. tabaci*, assez peu d'études existent mais les résultats obtenus par Hilje et Stansly (2008) en repiquant des tomates sous des couvertures de coriandre (*Coriandrum sativum*), d'*Arachis pinto* ou de pilipili (*Drymaria cordata*) étaient encourageants.
- Le compagnonnage : Intercropping à très petite échelle (souvent à l'échelle d'un jardin) dans lequel la disposition des plantes est pensée de manière à placer à proximité les unes des autres des plantes réputées « bonnes compagnes ».

3. Intérêt des plantes aromatiques dans l'intercropping pour la gestion des ravageurs aériens

Les plantes dites aromatiques ont été historiquement choisies pour leur saveur, leur odeur ou leurs propriétés médicinales. Elles sont utilisées en médecine traditionnelle, en parfumerie et en cuisine. Ce sont souvent des plantes à forte valeur ajoutée, qui peuvent constituer une culture de rente et un revenu additionnel non négligeable pour de petits agriculteurs (Schippmann et al., 2006).

Elles sont souvent conseillées comme plantes compagnes dans les livres et les sites de jardinage (Gerbeaud.com, homejardin.com, lesbeauxjardins.com). Le basilic (*Ocimum basilicum*) est ainsi généralement conseillé comme plante compagne de la tomate (Bomford, 2009), la coriandre (*Coriandrum sativum*) est conseillée comme plante compagne de la carotte (Gerbeaud.com, Collard, 2009)... On peut lire sur un site de jardinage connu que « Les essences [que les plantes aromatiques] libèrent ont un fort pouvoir répulsif vis-à-vis de nombreux insectes parasites et viennent se mêler aux odeurs attractives des légumes 'garde-manger' » (Gerbeaud.com).

De nombreuses études sur les réponses d'insectes aux composés volatiles émis par les plantes ont été publiées. Selon Szendrei et Rodriguez-Saona (2010), la plupart de ces études concernent des composés volatiles attractifs pour l'insecte concerné, néanmoins plusieurs concernent des composés volatiles répulsifs. Le comportement des femelles semble plus facilement perturbé que celui des mâles ; un composé pur n'est généralement pas aussi efficace qu'un mélange. Les insectes piqueurs-suceurs comme *B. tabaci* ne semblent pas être les plus sensibles aux composés volatiles, et semblent répondre de façon plus forte aux composés des groupes ester et cétones.

Néanmoins, très peu d'études existent sur l'efficacité des associations avec des plantes aromatiques pour la gestion des ravageurs aériens. Song et al. (2010) ont observé un contrôle biologique des ravageurs dominants dans les vergers de poires plus efficace en présence de plantes aromatiques. Finch et al. (2003) ont observé que la mouche du chou et la mouche de l'oignon avaient plus de mal à trouver leur plante hôte quand celle-ci était entourée de plantes non hôtes. Cet effet dépendait de la hauteur, du poids, de la surface foliaire de ces plantes non hôtes et ne semblait pas plus important pour les plantes aromatiques que pour d'autres plantes. Hilje et Stansly (2008) ont observé qu'une couverture végétale de coriandre (*Coriandrum sativum*) permettait de réduire l'infestation de *B. tabaci* et de retarder l'apparition des maladies associées. Togni et al. (2010) ont observé en milieu contrôlé que bien que les composés volatiles émis par la coriandre ne soient pas répulsifs, les composés volatiles émis par la tomate étaient plus attractifs purs que mélangés à ceux émis par la coriandre.



Photographie 2 : Basilic anis (noté B1) en fleurs



Photographie 3 : Basilic citron (noté B2) en fleurs



Photographie 4 : Basilic cannelle (noté B3) en fleurs



Photographie 5 : Gros-thym

Partie B

Matériel et méthodes

I. Matériel végétal utilisé

1. La tomate (*Solanum lycopersicum*)

La variété Heatmaster a été choisie parce qu'elle est couramment cultivée en Martinique. Les agriculteurs l'apprécient parce qu'elle donne de gros fruits et qu'elle est adaptée au climat tropical.

2. Le basilic (*Ocimum basilicum* L.)

Classe : Magnoliopsida, **Ordre :** Lamiales, **Famille :** Lamiaceae, **Genre :** *Ocimum*

Membre de la famille de la menthe, le basilic est couramment utilisé en cuisine pour son arôme et en médecine « douce » pour ses propriétés digestives, diurétiques, antispasmodiques et antiseptiques (Spichiger et al., 2009). Facile à cultiver, il se bouture très bien.

La composition et la quantité de composés aromatiques (susceptibles de devenir des composés volatiles) dans les feuilles de basilic ou dans son huile essentielle présentent des variations importantes selon le cultivar (le génotype) et l'environnement (Loughrin and Kasperbauer, 2003; Olcay Arabaci and Bayram, 2004; Zheljazkov et al., 2007; Chang et al., 2008).

Les composés majoritaires dans les volatiles diffèrent selon les cultivars (Klimánková et al., 2008), néanmoins les volatiles linalool, méthyl chavicol, eugenol, bergamotene, méthyl cinnamate et 1,8 cineole sont souvent cités comme des composants importants dans les émissions ou dans l'huile essentielle de basilic (Loughrin and Kasperbauer, 2003; Olcay Arabaci and Bayram, 2004; Chang et al., 2008; Klimánková et al., 2008).

Trois cultivars ont été utilisés ici : basilic anis, basilic citron, basilic cannelle (Photographies 2 à 4). Les semences ont été achetées à l'entreprise Ducretet (Ducretet). Ces trois cultivars étaient majoritairement en fleurs pendant presque toute la durée de l'expérimentation.

3. Le gros thym (*Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng)

Classe : Magnoliopsida, **Ordre :** Lamiales, **Famille :** Lamiaceae, **Genre :** *Plectranthus*

A la fois condiment et remède, le gros-thym fait partie intégrante du jardin créole traditionnel (Degras, 2005). Ses utilisations médicinales sont très variées, il est utilisé pour des problèmes digestifs, pour stimuler la lactation, contre la toux, les otites, dans des cas d'asthme, de bronchite, d'épilepsie ou même de choléra (Castillo and González, 1999; Khare et al., 2011). Comme toutes les espèces qui formaient le groupe *Coleus* Lour., cette espèce a récemment été rattachée au genre *Plectranthus* (Grayer et al., 2010). Certains articles la désignent encore sous l'un de ses anciens noms : *Coleus amboinicus* Lour. ou *Coleus aromaticus* Benth (Khare et al., 2011).

Selon Khare et al. (2011), la composition de l'huile essentielle de gros thym est variable selon la région du monde. Les composés suivants y ont été détectés : α -pinene, camphene, 1-octen-3-ol, β -pinene, myrcene, α -phellandrene, Δ -3-carene, α -terpinene, p-cymene, limonene, (Z)- β -ocimene, (E)- β -ocimene, α -phellandrène, γ -terpinene, α -terpinolene, linalool, camphor, 1-terpinen-4-ol, α -terpineol, thymol, carvacrol, α -cubebene, β -cubebene, β -elemene, β -caryophyllene, α -bergamotene, (Z)- β -farnesene, α -humulene, β -guaïene, (-)- α -selinene, β -bisabolene, δ -cadinene, caryophyllene oxide, δ -cadinol, α -cadinol, farnesol, calamenol et (-)-4 β -7 β -aromadendrandiol (Abdel-Mogib et al., 2002). Prudent et al. (1995) ont observé que l'huile essentielle du gros thym cultivé en Martinique est composée majoritairement (à 72%) de carvacrol.

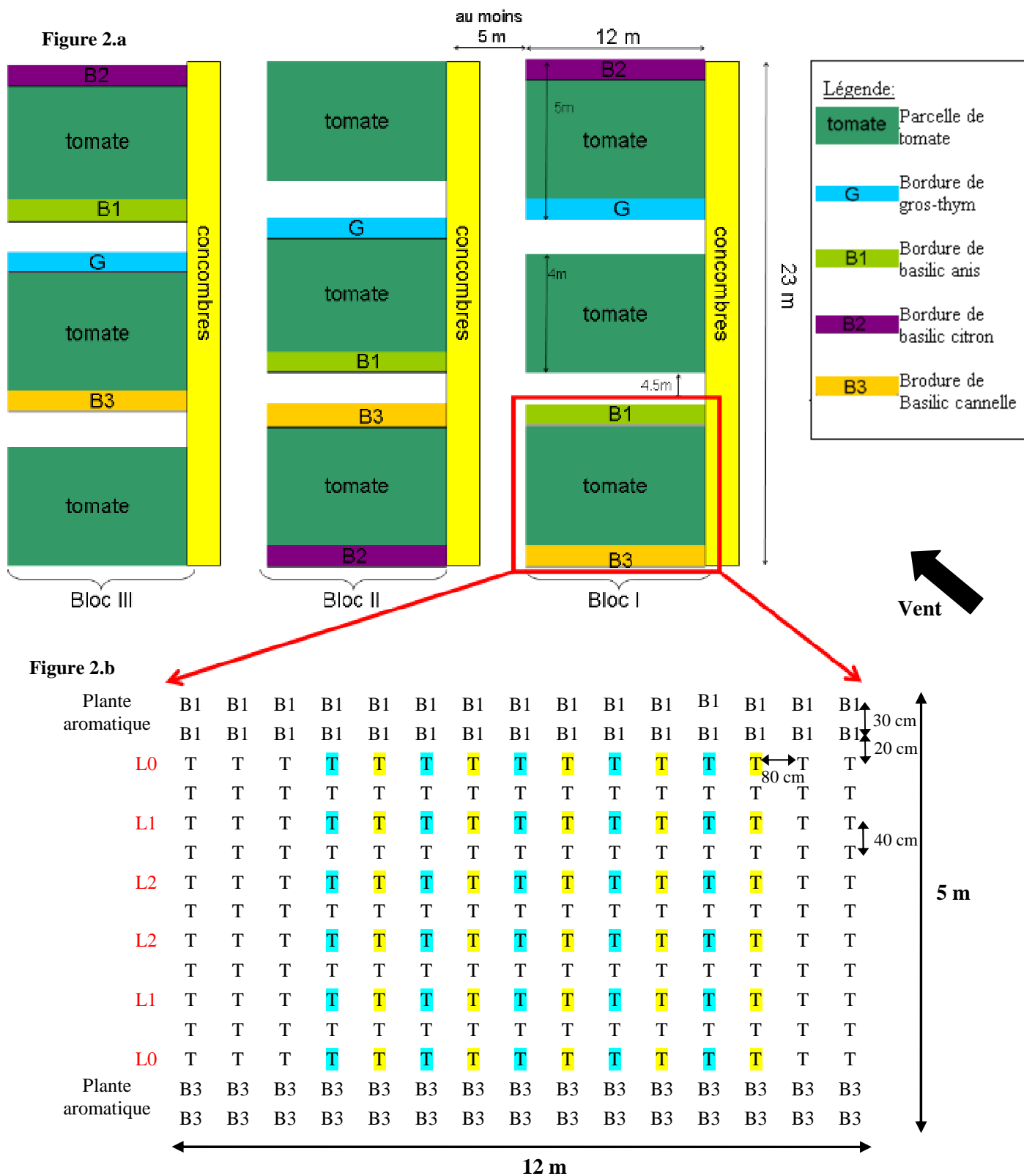


Figure 2 : Schéma représentatif du dispositif d'évaluation de l'infestation de *B. tabaci* en fonction des plantes aromatiques associées. La figure 2.a (en haut) explicite les positions des différentes cultures. Les rangées de concombre, plantées pour assurer la présence de *B. tabaci* ont été arrachées avant le début des expérimentations. Le schéma B.3.B (en bas) précise l'implantation des plants au sein d'une parcelle. Les plantes aromatiques sont représentées par leur lettre code (ici B1 et B3), les plants de tomate par la lettre T. Autant que possible, les prélèvements se sont effectués alternativement sur les plants surlignés en jaune et en bleu. Ces plants sont à 20 cm (pour la rangée L0), 1 m (L1) et 1,80m (L2) de la rangée aromatique associée.

II. Evaluation des populations de *B. tabaci* sur tomate en fonction de la plante aromatique associée et de la distance à la bande aromatique

1. dispositif expérimental en champ

Le dispositif expérimental reprend sur le site du CFPPA (Centre de Formation Professionnelle et de Promotion Agricole) du Carbet le dispositif mis en place en 2011 sur le site de Sainte-Anne.

C'est un dispositif de type split-plot à trois blocs et deux facteurs :

- Le facteur principal est la nature de l'association. Ce facteur possède cinq modalités : Association tomate - basilic anis (B1-T), tomate - basilic citron (B2-T), tomate - basilic cannelle (B3-T), tomate - gros-thym (G-T) : ou pas d'association (T pour tomate seule).
- Le facteur secondaire est la distance par rapport à la bande de plantes aromatiques. Il possède trois modalités, notées L0 pour la rangée directement en association avec la plante aromatique (la distance à la plante aromatique est alors de 20cm), L1 pour la rangée à un mètre de la plante aromatique, et L2 pour la rangée à 1.80 mètres de la plante aromatique.

Pour assurer une infestation suffisante en aleurodes, deux rangées de concombres ont été plantées à proximité de chaque bloc six semaines avant le début de l'expérimentation, et arrachées juste avant. En effet, le concombre est une plante hôte très appréciée de *B. tabaci* (Xienqui, 2000). Chaque bloc est divisé en trois parcelles, qui ont chacune été plantées de onze rangées de quinze plants de tomates. Une parcelle par bloc est définie comme « parcelle témoin », et plantée uniquement de plants de tomates. Les rangées extérieures des deux parcelles restantes sont associées à deux rangées de l'une des plantes aromatiques étudiées, chaque plante aromatique apparaît exactement une fois par bloc. Au moins cinq mètres sont laissés entre chaque bloc, et quatre mètres entre deux parcelles d'un même bloc. Le dispositif est représenté ci-contre (Figure 2.).

2. Echantillonnage

Le dispositif a été échantillonné le 22 mars 2012, le 2 avril 2012 et le 16 avril 2012. Une attaque virulente de flétrissement bactérien mi avril a causé l'arrêt de l'échantillonnage après le 16 avril, et les données récoltées le 16 avril sont incomplètes et ne concernent que les blocs 2 et 3, plus tardivement touchés par la maladie.

Pour mesurer l'infestation, des feuilles ont été prélevées lors de chaque échantillonnage sur chaque demi-parcelle à 20, 100 et 180 cm de la plus proche rangée de plantes aromatiques.

Seule une rangée sur deux a été échantillonnée, de façon à pourvoir traiter comme indépendantes les infestations observées dans différentes rangées échantillonnées. Les rangées échantillonnées sont surlignées en jaune ou en bleu sur le schéma B.2.b. Lors de chaque observation, une feuille a été prélevée sur le tiers supérieur de cinq plants par rangée étudiée.

3. Evaluation de l'infestation

Les adultes sont trop mobiles pour pouvoir être facilement recensés ; les œufs avaient été l'année dernière jugés trop petits pour pouvoir l'être confortablement. Pour pouvoir comparer les résultats obtenus aux résultats de l'année dernière, le même outil de suivi des populations a été utilisé. Le suivi des populations s'est donc effectué sous loupe binoculaire par dénombrement des larves sur la face inférieure des feuilles échantillonnées.

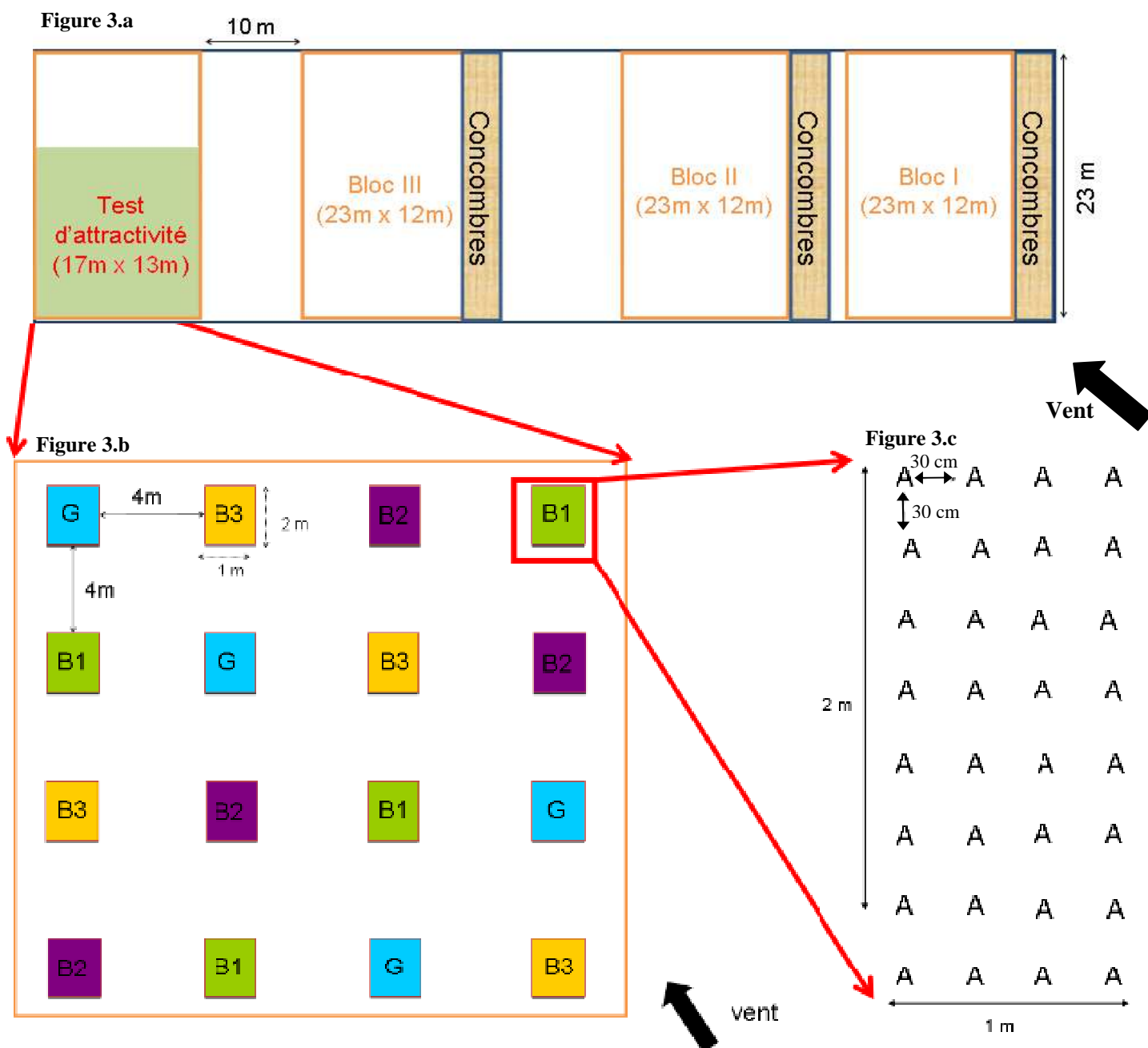


Figure 3 : Schéma explicatif du dispositif d'évaluation de l'attractivité des plantes aromatiques. La figure 3.a (en haut) rappelle la position de ce dispositif par rapport à l'autre dispositif présent sur le même site. La figure 3.b (en bas à gauche) explicite les positions des parcelles de plantes aromatiques : gros-thym (G), basilic anis (B1), basilic citron (B2) ou basilic cannelle (B3). La figure 3.c précise l'implantation des plantes aromatiques au sein même d'une parcelle. Chaque plant est représenté par la lettre A. Les plants échantillonnés sont choisis au hasard parmi les plants centraux.

III. Evaluation en champ de l'attractivité relative des plantes aromatiques

1. Dispositif expérimental

A dix mètres du dispositif précédent, seize petites parcelles de plantes aromatiques ont été plantées en carré latin. Pour la permutation aléatoire des lignes et des colonnes la fonction *sample* de R a été utilisée. Le schéma du dispositif est présenté en figure B.3.

Chaque petite parcelle d'un mètre sur deux a été plantée de 32 plants de basilic ou gros-thym.

2. Echantillonnage et évaluation de l'infestation

Toutes les deux semaines, le bourgeon apical (ou l'un des bourgeons apicaux si il y en avait plusieurs) ainsi que les derniers nœuds ont été prélevés sur cinq plants, choisis au hasard parmi les plants centraux. Les larves d'aleurodes ont été dénombrées sous loupe binoculaire. La surface foliaire de chaque échantillon a été déterminée par scan des feuilles et utilisation du logiciel Image J. Cela a permis de calculer la densité surfacique en larves de chaque échantillon.

IV. Evaluation sous serre de l'attractivité relative des plantes aromatiques et de la tomate : Test de choix

1. Dispositif expérimental

Quatre tables ont été disposées dans deux enceintes fermées préalablement infestées par lâchers d'aleurodes. Sur chaque table un « bloc » formé de dix plants de tomates, dix plants de gros-thym et dix représentants de chaque cultivar de basilic a été placé. La distribution de ces plants, identique pour les quatre blocs, a été choisie aléatoirement, et est présentée dans la figure 4.

2. Echantillonnage et évaluation de l'infestation

Entre le 30 avril et le 16 mai un bloc par semaine a été échantillonné de la façon suivante : vingt feuilles (dix feuilles au niveau des bourgeons apicaux, dix feuilles au deuxième nœud) ont été prélevées sur chaque plante aromatique, deux feuilles (la feuille la plus haute et la troisième feuille) ont été prélevées sur chaque plants de tomates. Cette différence de traitement s'explique par le fait que les feuilles de tomates sont beaucoup plus grosses et moins nombreuses.

Pour évaluer la densité en œufs sur les feuilles échantillonnées, la méthode utilisée par Ryckewaert (1998b) lors de sa thèse a été réutilisée. Chacune de ces vingt feuilles (chaque foliole de ces deux feuilles, pour la tomate) a été marquée d'un ou deux cercle(s) à l'aide d'un petit tube en plastique de 1,5 cm de diamètre. Ce cercle a ainsi permis de matérialiser sur la feuille une surface de 1,8 cm². Les œufs présents à l'intérieur du cercle ont été comptés. Quand la densité était très importante, seule la moitié, le quart ou le huitième du cercle ont été inventoriés. Ces données de comptage ont ensuite été transcrites en densités.

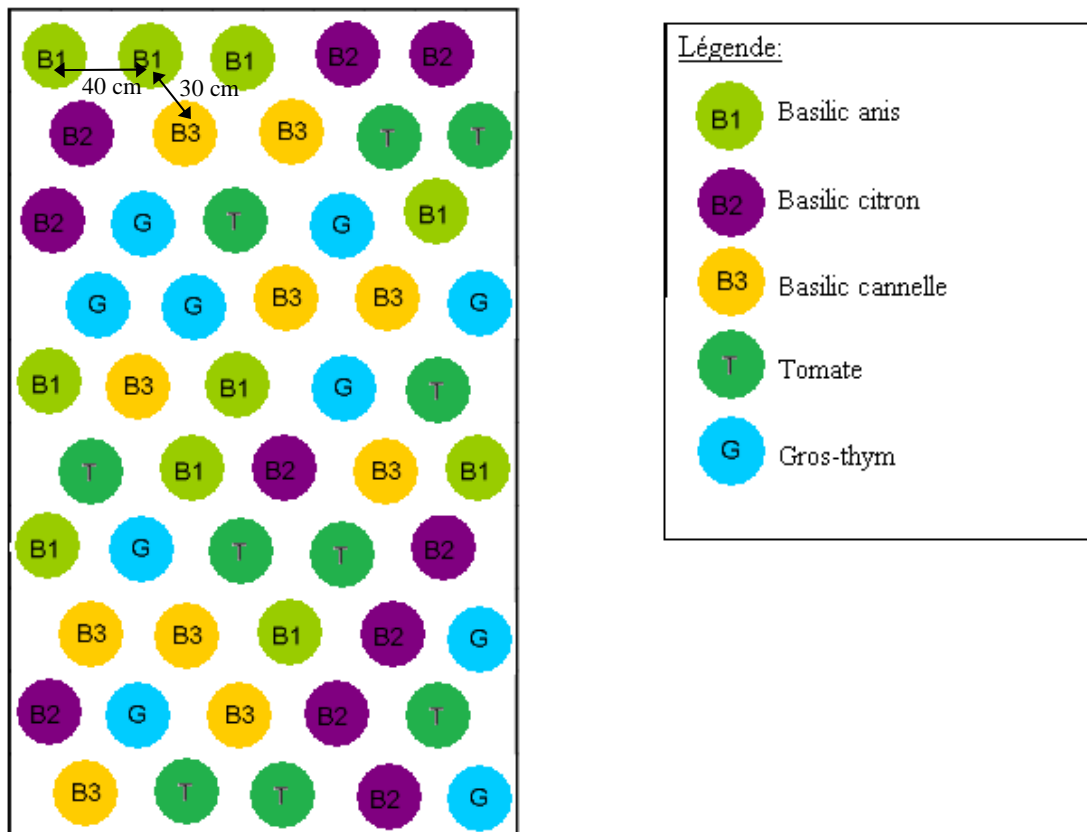


Figure 4 : Schéma d'un bloc du dispositif d'évaluation sous serre de l'attractivité des espèces et cultivars utilisés. La distribution des plants a été choisie de manière aléatoire et est identique pour les quatre blocs. Chaque plant est un représenté par un disque coloré.

V. Analyse des données

Les tests statistiques et les graphes ont été réalisés à l'aide du logiciel R, versions 2.11 puis 2.15.

1. Données des populations de *B. tabaci* sur tomate en champ

On considère les mesures effectuées à des dates différentes ou sur des rangées différentes comme indépendantes. Le lecteur est invité à se référer à l'annexe 1 pour plus de précisions sur cette hypothèse d'indépendance. A chaque rangée de tomate et à chaque date est donc associé le nombre total de larves observées sur cinq feuilles.

On a d'abord ajusté aux données un modèle de quasi-poisson dit « modèle de quasipoisson complet » faisant intervenir la date, le bloc, la nature de l'association, la distance à la bordure conditionnellement à la nature de l'association, ainsi que toutes les interactions entre ces facteurs. Pour plus de précisions sur le choix du modèle, le lecteur est une fois de plus invité à se référer à l'annexe 1. Une analyse de variance et un test de significativité basé sur le quotient des déviations (voire Bolker, 2008 p. 312) nous ont permis de déterminer quels facteurs ou interactions de facteurs étaient significatifs. Seuls les facteurs significatifs ont été conservés dans un second modèle, qu'on appellera ici « modèle simplifié ».

Des estimations des paramètres de ce modèle simplifié ont alors été générées par la fonction *summary* de R, ainsi que les statistiques de Student (F, p-value) associées.

Pour tester d'une autre manière l'impact de chaque plante aromatique, des tests multiples ont été effectués : pour chaque plante aromatique, le modèle simplifié a été ajusté aux données des demi-parcelles seules ou en association avec la plante aromatique concernée. La méthode séquentielle de Bonferroni de Holm (Cuthil, 2010) a ensuite été utilisée pour conclure pour chaque plante aromatique sur l'existence ou non d'un impact.

2. Données des populations de *B. tabaci* sur tomate, basilic et gros thym en milieu fermé

Si on essaie d'ajuster un modèle linéaire aux données, les résidus ne sont pas normaux et présentent une hétéroscédasticité (voir annexe 1). Des tests non paramétriques ont donc été privilégiés. Pour chaque date, le test de Kruskal-Wallis (Cuthil, 2010) a été utilisé pour détecter des différences significatives entre les espèces ou les cultivars. Pour conclure sur les différences d'attractivité, des tests de W de Wilcoxon ont été effectués pour chaque couple d'espèces ou de cultivars, et la méthode séquentielle de Bonferroni de Holm a été utilisée sur les résultats de ces tests.

Facteur concerné	Base ¹	Valeur du facteur	Coefficient estimé	Niveau de significativité	
Date	30 mars 2012	2 avril 2012	1.5	$3.1 \cdot 10^{-9}$	***
		16 avril 2012	18.4	0.99	
Bloc	Bloc 1	Bloc 2	-2.2	$7.1 \cdot 10^{-4}$	***
		Bloc 3	-18.2	0.99	
Interaction date*bloc	30 mars 2012 ; *Bloc 1	2 avril 2012*Bloc2	1.4	0.039	*
		2 avril 2012*Bloc3	14.8	0.98	
		16 avril 2012*Bloc2	14.7	0.98	
		16 avril 2012*Bloc3	Données manquantes		
Nature de l'association	Tomate seule	Association avec du basilic anis	-0.30	0.097	.
		Association avec du basilic citron	0.04	0.82	
		Association avec du basilic cannelle	-0.46	0.019	*
		Association avec du gros-thym	0.34	0.061	.

Tableau 1 : Estimation des coefficients du modèle de poisson simplifié, avec les niveaux de significativité (*p-values*) associés. *** indique une significativité à 0.1%, * indique une significativité à 5% et . indique une tendance (10%)

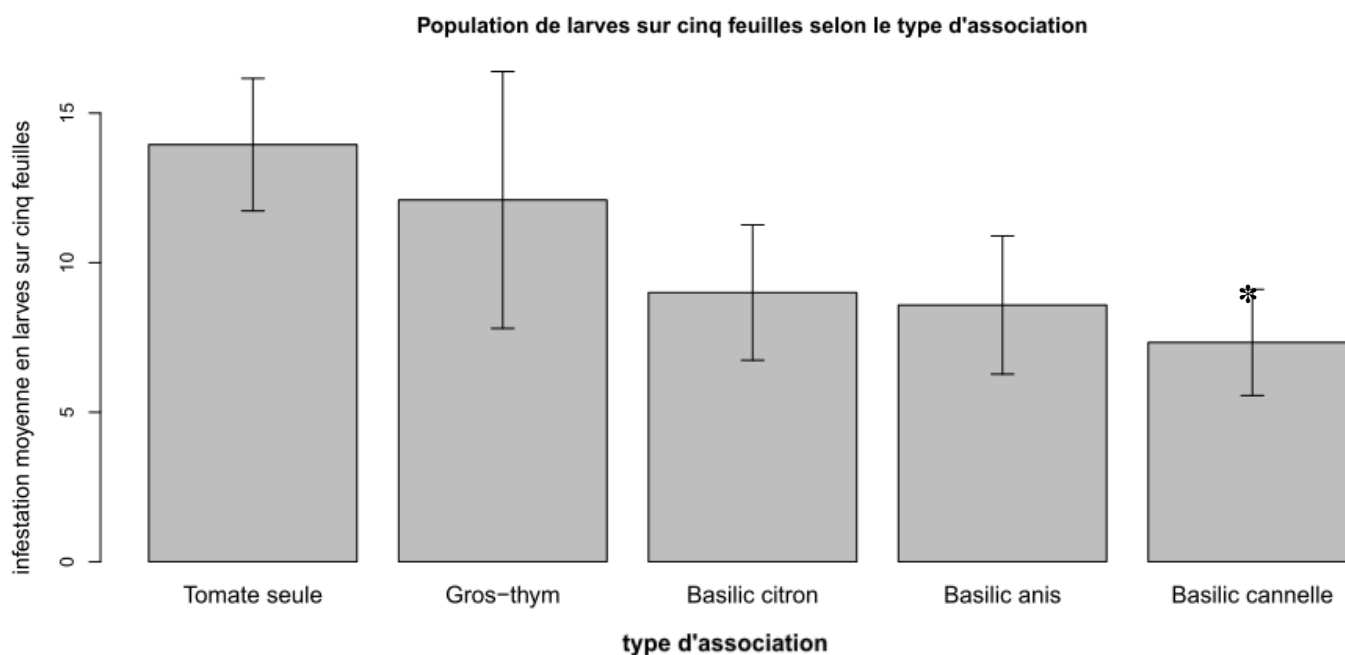


Figure 5 : Infestation moyenne en larves et erreurs standards sur des tomates seules ou en association avec l'une des plantes aromatiques. Les tomates associées au basilic cannelle sont significativement moins infectées que les tomates seules.

¹ Base = Valeur du facteur pour laquelle le coefficient est fixé à zéro

Partie C : Résultats

I. Données manquantes ou inexploitable

Des larves d'aleurodes ont été observées en très faible densité et sur moins de 10% des échantillons prélevés dans le dispositif d'évaluation en champ de l'attractivité des plantes aromatiques. Les données ne sont donc pas exploitables.

Les tomates plantées en champ ont été à partir de début avril atteintes par le flétrissement bactérien *Ralstonia solanacearum*. Quand c'était possible, on a remplacé dans l'échantillonnage les feuilles de plants atteints par des feuilles de plants de la même rangée. Le 16 avril, aucun prélèvement n'a pu être effectué sur le bloc 1, trop sévèrement touché et l'expérimentation a dû prendre fin prématurément après le 16 avril.

II. Impact d'une bordure de plantes aromatiques sur les populations de larves

L'analyse de variance du modèle complet de quasi-poisson ajusté aux données des populations de larves sur les feuilles de tomates a permis de mettre en évidence l'impact des facteurs suivants (facteurs identifiés comme significatifs)

- La date ($F = 64.6, p = 1.3 \times 10^{-11}$) : le 22 mars très peu de larves d'aleurodes étaient présentes, en avril beaucoup plus. Cela signifie que l'infestation a mis un certain temps à s'installer.
- Le bloc ($F = 86.4, p = 3.5 \times 10^{-13}$) : L'infestation est plus importante pour le bloc 1 que pour le bloc 2, et pour le bloc 2 que pour le bloc 3.
- L'interaction date*bloc ($F = 5.5, p = 0.0039$) : L'infestation s'est répandue du bloc 1 vers les autres blocs, les différences entre les blocs se sont réduites
- La nature de l'association ($F = 4.2, p = 0.0077$) : la bordure de plantes aromatiques a donc un impact significatif.

La distance à la bordure aromatique n'a par contre pas d'impact significatif ($F = 1.1, p = 0.40$). Les interactions entre la nature d'interaction et la date ou le bloc n'ont pas non plus d'impact significatif. Cela signifie que l'impact des bordures aromatiques ne dépend ni de la date, ni du bloc, ni de la distance.

La date, le bloc, l'interaction entre la date et le bloc et la nature de l'association ont donc été conservés dans le modèle simplifié de poisson. Les coefficients de ce modèle ont été estimés à l'aide du logiciel R, ils sont donnés avec leur niveau de significativité dans le tableau 1. Seul le coefficient lié à la présence de basilic cannelle est significativement différent de 0, néanmoins une tendance est observable pour les coefficients liés au gros-thym ou au basilic anis. Des tests multiples entre la tomate et chacune des différentes plantes aromatiques et la méthode séquentielle de Bonferroni de Holm donnent une conclusion similaire : seules les mesures effectuées près des bordures de basilics cannelles diffèrent significativement de celles effectuées dans les parcelles de tomates seules. Les valeurs moyennes des populations de larves pour chaque type d'association ainsi que les erreurs standards sont représentées dans la figure 5.

La présence d'une bordure de basilic cannelle réduit donc l'infestation par *B. tabaci*, quels que soient le bloc, la date et la distance à la bordure. Pour visualiser qualitativement des différences d'amplitude de cet effet, on trace les moyennes et les erreurs standards des plants de tomates seuls ou en association avec le basilic cannelle pour chaque bloc, date ou distance (figure 6).

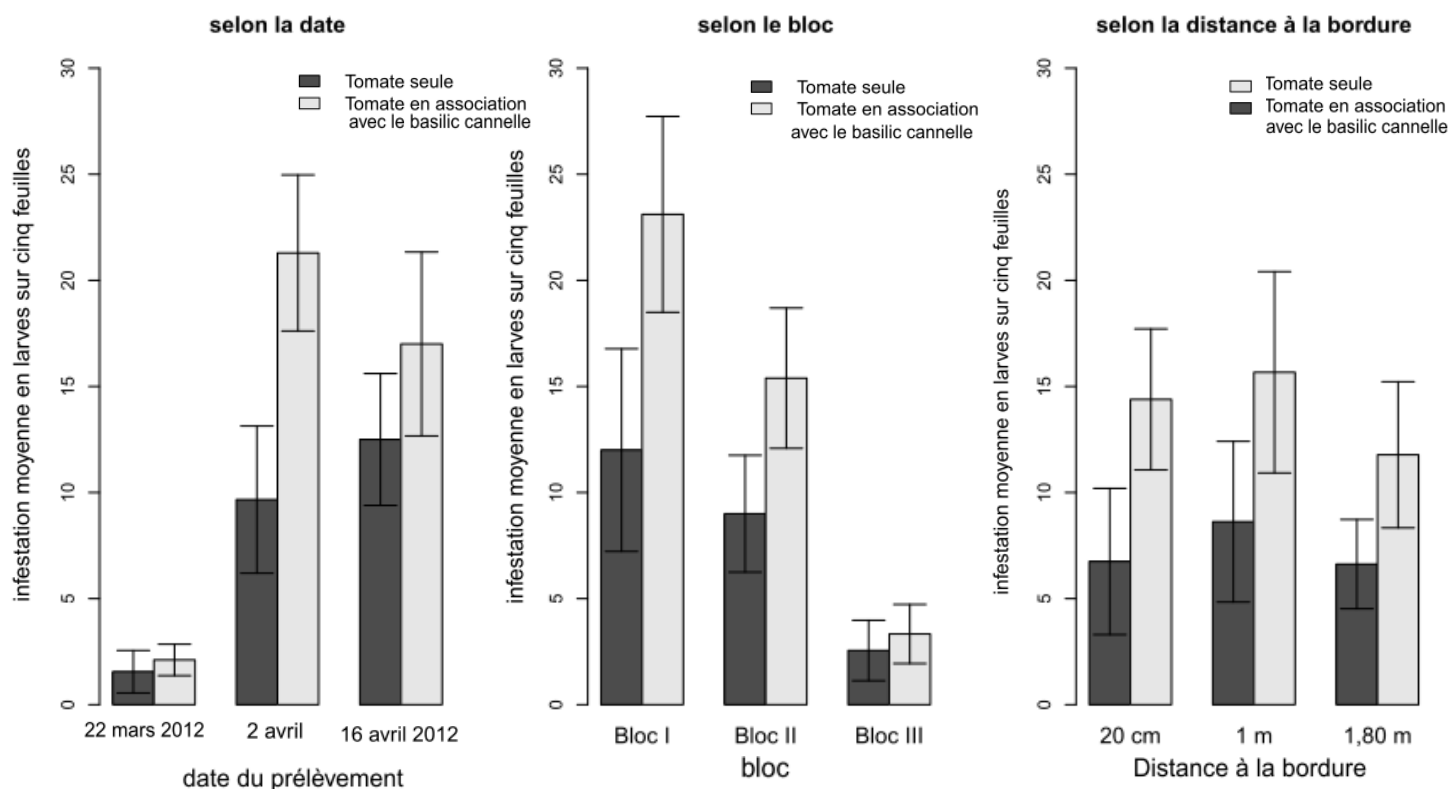


Figure 6 : Comparaison de l'infestation sur tomates seules et sur tomates en association avec du basilic cannelle selon la date, le bloc ou la distance à la bordure

	09-mai-12	14-mai-12	21-mai-12
basilic citron	15,6 (51,4)	4,2 (24,4)	17,6 (45,9)
basilic anis	0,8 (1,9)	7,6 (11,3)	45,3 (71)
basilic cannelle	10,8 (25,8)	19,7 (53)	125,3 (180,7)
gros-thym	0 (0,1)	0,3 (0,7)	1,3 (2,6)
tomates	38,6 (47,3)	149,5 (74,2)	375 (203)

Tableau 2 : Moyennes et erreurs standards des densités surfaciques en œufs mesurées pour chaque date (ou chaque bloc) sur chaque espèce ou cultivar dans le test de choix.

III. Attractivité relative de la tomate et des quatre plantes aromatiques

Pour chaque date, les densités surfaciques en œufs diffèrent significativement selon l'espèce considérée (*Kruskal – Wallis*, $\chi^2 > 26$, $df = 4$, $p < 2.2 * 10^{-5}$). Pour chaque date, les densités en œufs sont plus importantes pour la tomate que pour chacune des plantes aromatiques (figure 8).

Pour les données du 9 mai 2012, les densités observées sur le basilic cannelle sont plus importantes que celles observées sur le basilic anis, les densités observées sur le basilic citron ne sont pas significativement différentes de celles observées sur les autres basilics. Les densités observées sur le gros-thym sont les plus faibles.

Pour les données du 14 mai 2012, les densités observées sur les trois cultivars de basilic ne diffèrent pas significativement, et les densités mesurées sur le gros thym sont significativement plus faibles que celles mesurées sur le basilic cannelle.

Pour les données du 21 mai 2012, les densités observées sur le basilic cannelle sont plus importantes que celles mesurées sur le basilic citron ou sur le gros-thym, les trois autres plantes aromatiques ne diffèrent pas significativement entre elles.

Il n'y a pas d'interaction entre l'espèce et la date, les données peuvent être analysées sans tenir compte de l'effet date.

Les densités surfaciques en œufs diffèrent significativement selon l'espèce considérée (*Kruskal – Wallis*, $\chi^2 = 78$, $df = 4$, $p = 5.1 * 10^{-16}$). Les densités en œufs sur les feuilles supérieures sont donc significativement plus importantes pour la tomate que pour le basilic cannelle, pour le basilic cannelle que pour les basilics citron ou anis, et pour les basilics citron ou anis que pour le gros-thym. Aucune différence significative n'a été détectée entre les densités en œufs sur les feuilles de basilic anis et de basilic citron. Les valeurs moyennes de densité surfacique ainsi que les erreurs standards pour chaque espèce ou cultivar sont données en figure 7.

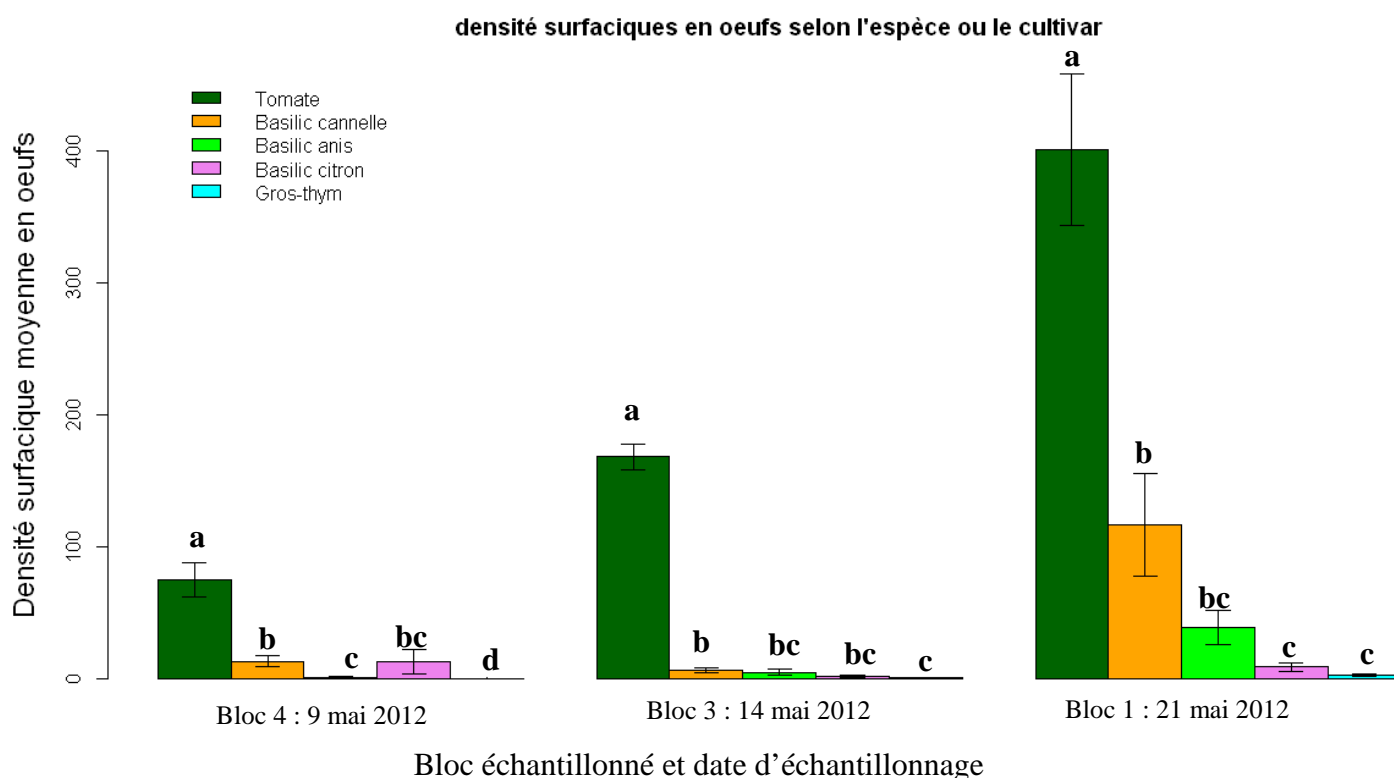


Figure 7 : Moyennes et erreurs standards des densités surfaciques en œufs mesurées pour chaque date (ou chaque bloc) sur chaque espèce ou cultivar dans le test de choix. Pour chaque date, les moyennes signalées avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

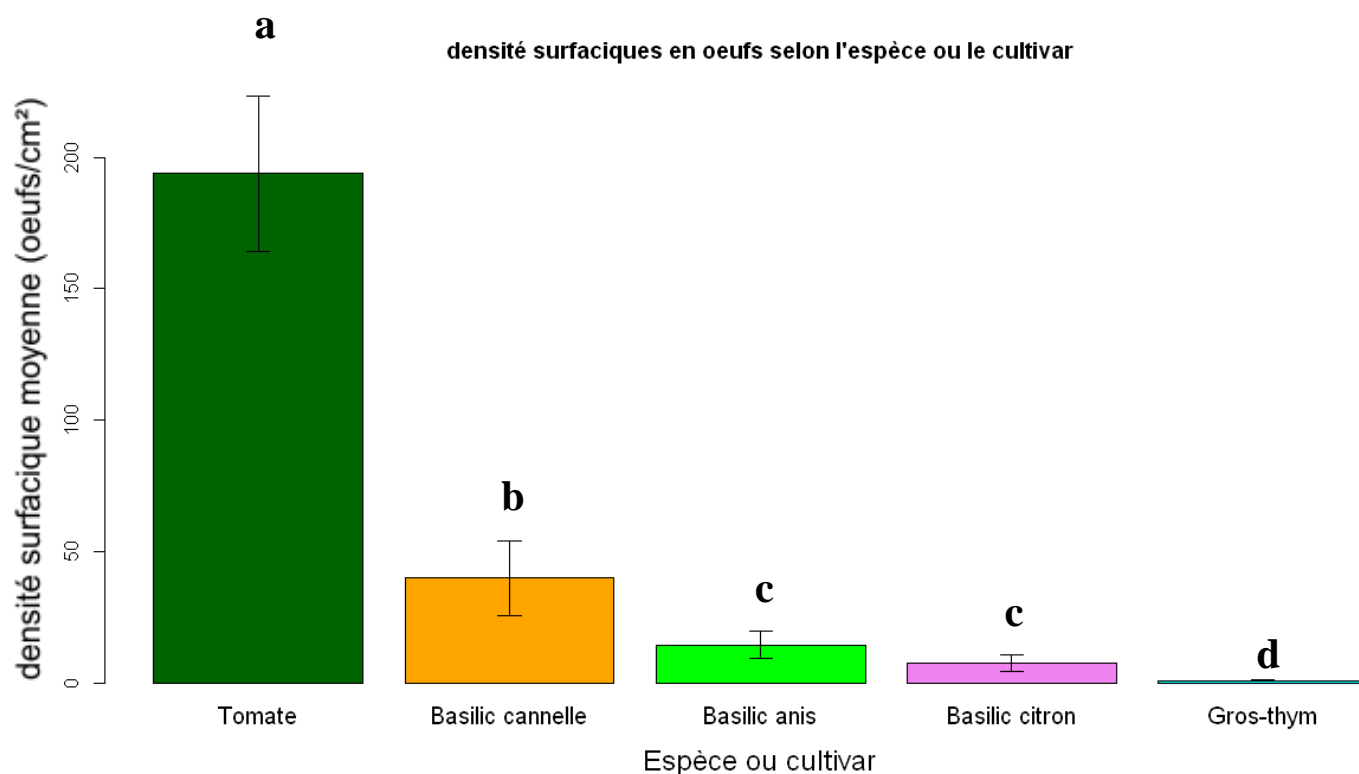


Figure 8 : Moyenne et erreurs standards des densités surfaciques mesurées sur chaque espèce ou cultivar dans le test de choix. Les moyennes signalées avec la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Partie D : Discussion

Cet essai avait pour objectif principal d'évaluer l'impact du gros-thym et de trois cultivars de basilic, cultivés en association avec la tomate, sur les populations de larves de *B. tabaci* sur les feuilles de tomate, en fonction de la distance à la plante aromatique la plus proche.

Les données récoltées en champ permettent de conclure à un impact significatif de la bordure de basilic cannelle : on a observé en moyenne 47% moins de larves sur les rangées de tomate en association avec ce cultivar que sur les rangées des parcelles témoin (tomate non associée). On ne peut par contre pas conclure sur l'utilité d'une bordure de gros-thym, de basilic anis ou de basilic citron, et aucune différence entre les rangées directement associées aux plantes aromatiques et les rangées à 100 et 180 cm de la bordure n'a été détectée.

L'infestation moyenne a été beaucoup moins (presque quatre fois moins) importante que celle observée en 2011 (Momperousse, 2011). Cela peut s'expliquer entre autres par :

- Des différences météorologiques : en effet les mois de janvier, février et mars 2012 ont été exceptionnellement ventés en Martinique (Anon., 2012b; c; d)
- L'absence de plantes hôtes avant la mise en place du dispositif,
- Ou tout simplement le choix d'un nouveau site.

Momperousse (2011) avait conclu en constatant qu'une bordure de gros-thym, de basilic anis ou de basilic citron avait permis une réduction de l'infestation. Les résultats présentés ici ne permettent ni de confirmer, ni d'infirmer sa conclusion, pas plus que ses résultats ne permettent de confirmer ou d'infirmer la conclusion ci-dessous. Il est difficile de comparer les résultats obtenus lors de ces deux études d'une part parce que l'ampleur de l'infestation n'était pas la même, d'autre part parce que les analyses statistiques effectuées diffèrent : Alors que O'Hara et Kotze (2010) déconseillent ce type de démarche, Momperousse avait log-transformé ses données, avant d'utiliser un modèle linéaire et une analyse de variance. Il avait ensuite comparé les différentes moyennes à l'aide d'une procédure de Duncan. Néanmoins, il semble qu'aucune des plantes aromatiques testées n'a permis de réduire systématiquement l'infestation sur les tomates. S'il s'avère que l'impact d'une bordure de plantes aromatiques dépend du site d'expérimentation, les explications possibles incluent :

- Le rôle joué par la communauté d'ennemis naturels et d'hôtes alternatifs : si l'impact des bordures de plantes aromatiques se fait par l'intermédiaire de ces communautés (hypothèse des ennemis naturels : Root, 1973; Russel, 1989), on peut s'attendre à ce que cet impact varie selon le site d'expérimentation.
- Une expression différente du génotype des plantes aromatiques selon l'environnement : il est par exemple connu que la composition et la quantité des composés aromatiques dans les feuilles de basilic présentent des variations selon la température, l'environnement lumineux de la plante ainsi que ses éventuelles carences (Loughrin and Kasperbauer, 2003; Olcay Arabaci and Bayram, 2004; Chang et al., 2007, 2008).
- Une influence de l'environnement (par exemple des conditions météorologiques) sur la perception par *B. tabaci* de la couleur ou de l'odeur des plantes hôtes potentielles.
- Le rôle joué par les autres plantes présentes (adventices...)
- L'ampleur de l'infestation en aleurodes.

Les densités en œufs d'aleurode observées lors du test de choix ont confirmé que la variété de tomate utilisée est une plante hôte très appréciée de *Bemisia tabaci*. La moyenne des densités surfaciques en œufs et en larves mesurées sur la tomate approchait en effet les 200 œufs par cm². Les plantes aromatiques testées sont beaucoup moins attractives. Très peu d'œufs (moins d'un par cm²) ont été observées sur le gros-thym, malgré la densité de l'infestation sur les tomates voisines. On peut en déduire que le gros thym n'est pas une plante hôte acceptable.

Momperousse (2011) avait observé que le basilic cannelle était plus infesté que les deux autres cultivars de basilic, les observations présentées ici confirment et précisent ce classement : le basilic cannelle est en effet plus attractifs que les autres plantes aromatiques, on a de plus pu mettre en évidence le fait que les deux cultivars de basilic restants sont plus attractifs que le gros-thym.

Il est intéressant de constater que le basilic cannelle, qui est la seule plante aromatique qui semble réduire l'infestation sur les tomates voisines, est la plante aromatique testée la plus attractive pour les aleurodes. Le gros-thym, très peu apprécié par les aleurodes, ne semble pas les repousser suffisamment pour que l'on observe infestation plus faible sur les tomates proche du gros-thym que sur les autres tomates.

La réponse de *Bemisia tabaci* varie selon les cultivars de basilic. Cette différence peut être due à des variations dans les signaux olfactifs ou visuels émis, ou à des variations de qualité de la plante hôte. Comme *B. tabaci* préfère le jaune ou le vert clair au vert foncé ou au violet (Chu et al., 2000; Saleh et al., 2010), il est peu probable que leur préférence pour le basilic cannelle (de couleur vert foncé tirant vers le violet) soit due à des signaux visuels, d'autant qu'il n'y a pas vraiment de différence de forme ou de pilosité entre les feuilles de basilic anis et les feuilles de basilic cannelle. Par contre la composition et la quantité de l'huile essentielle de basilic présentent de grandes variations selon le cultivar, tout comme la composition des composés volatiles émis (Zheljaskov et al., 2007; Klímánková et al., 2008). Il est donc possible que la différence de comportement de *B. tabaci* soit due à ces différences.

Ainsi, il semble important quand on travaille sur le basilic de préciser le cultivar.

L'expérimentation en champs a dû être arrêtée prématurément à cause d'une attaque de *Ralstonia Solanacearum*. Comme l'infestation a mis du temps à s'installer les densités observées étaient très faibles, surtout au premier échantillonnage. Peut-être d'autres relations auraient pu être détectées si on avait eu plus de données ou de plus fortes densités. Il aurait probablement été plus judicieux de compter les œufs : cela aurait peut-être reflété plus directement le temps de présence d'un adulte sur la feuille, cela aurait permis de détecter l'infestation dès le premier prélèvement. L'attaque de *Ralstonia Solanacearum* a aussi rendu impossible l'échantillonnage alterné : lors du dernier prélèvement, les plants survivants ont été échantillonnés, même ceux qui l'avaient déjà été deux semaines auparavant.

Pour ce qui est de l'expérimentation en serre, l'objectif a été atteint : on a pu classer les plantes aromatiques et la tomate en termes d'attractivité pour l'aleurode. Néanmoins, l'infestation était trop importante (surtout lors du dernier échantillonnage) pour que l'on puisse observer des différences entre les infestations sur les différents plants de tomate. La densité moyenne en œufs sur la tomate semble suivre une loi de Malthus² : elle a presque doublé entre chaque échantillonnage (donc chaque semaine). Pour observer des infestations plus faibles, on pourrait lâcher moins d'adultes dans le milieu, ou infester la deuxième enceinte un peu plus tard.

Aucune des plantes aromatiques testées n'ayant donné deux fois de suite des résultats encourageants, peut-être faudrait-il revoir l'implantation des plantes aromatiques par rapport à la culture. Hilje et Stansly (2008) ont obtenu des résultats intéressants en utilisant la coriandre (*Coriandrum sativum*), l'*Arachis pintoi* ou le pilipili (*Drymaria cordata*) comme plantes de couverture. Le gros thym le basilic citron et le basilic anis qui sont très peu attractifs voire répulsifs pour l'aleurode seraient peut-être plus efficaces utilisés comme plante de couverture.

Dans le contexte de l'agriculture martiniquaise, *B. tabaci* n'est pas le principal ravageur de la tomate, et les dégâts causés par *B. tabaci* découlent surtout de sa capacité à transmettre des virus. Il est donc utile de se demander s'il serait intéressant pour un agriculteur de mettre en place un dispositif perçu comme compliqué (bordures ...) pour réduire de moitié³ la population d'aleurodes sur ses tomates. On manque de données sur le lien entre le nombre de réplifications d'un vecteur (virus) reçu par une plante, et la probabilité que la plante soit atteinte du virus, ainsi que la virulence du virus. Ainsi le lien entre les variables mesurées dans cette étude et les

² Ce qui est assez logique, du moins tant que les ressources ne sont pas limitantes car l'expérimentation se fait en milieu contrôlé, donc aucun ennemi naturel n'est présent.

³ Aucun des résultats obtenus cette année ou consignés par Momperousse ne laisse penser qu'une bordure de plante aromatique puisse réduire de plus de 50% la population d'aleurodes sur les tomates voisines.

dégâts occasionnés n'est-il pas connu ; toutefois on peut supposer qu'il dépend de la variété considérée, et de paramètres environnementaux (carences...). En ce qui concerne la variété Heatmaster, il est à noter que malgré la faible ampleur de l'infestation, tous les plants encore vivants lors du dernier prélèvement étaient atteints d'une virose. A terme, les bordures de plantes aromatiques pourraient être une des composantes permettant de limiter la contamination par des viroses, avec l'utilisation des plants semi-résistants.

En conclusion, il est possible d'affirmer qu'une bordure de plantes aromatique peut réduire de façon importante l'infestation par *B. tabaci* dans des parcelles de tomates, néanmoins l'expérimentation n'a pas permis d'identifier une plante aromatique qui se soit montrée efficace lors de chaque réplication du dispositif. Ainsi, avant d'aller plus loin, il faudrait mieux comprendre les causes des différences de comportement observées. Par exemple, on pourrait, grâce à des analyses chimiques des composés volatiles émis, déterminer dans quelle mesure les variations des compositions chimiques de ces émissions peuvent être responsables de la non-fiabilité des résultats. Pour s'abstraire des conditions extérieures, on pourrait refaire en milieu contrôlé un test de choix entre des tomates en monoculture et des tomates associées aux plantes aromatiques.

Bibliographie

- Abdel-Mogib, M., H.A. Albar, and S.M. Batterjee. 2002. Chemistry of the Genus *Plectranthus*. *Molecules* 7(2): 271–301.
- Allain, E., and T. Brenac. 2001. Modèles linéaires généralisés appliqués à l'étude des nombres d'accidents sur des sites routiers : le modèle de Poisson et ses extensions. *Recherche Transports Sécurité* (72): 3–18.
- Andow, D.A. 1991. Vegetational Diversity and Arthropod Population Response. *Annual Review of Entomology* 36(1): 561–586.
- Anon. 2003. Fiche phytosanitaire : Bégomovirus de la Tomate présents à la Martinique. Available at http://www.fredon972.fr/FTP/Fiches_Phyto/Begomovirus_de_la_Tomate.pdf (verified 20 February 2012).
- Anon. 2008. Programme sectoriel fruits et Légumes. Bilan 2000-2006, Propositions 2007-2013.
- Anon. 2011a. Bulletin Climatique Mensuel Martinique janvier 2011. Available at <http://www.meteo.gp/alaune/bcm/archives/201101bcmmart.pdf>.
- Anon. 2011b. Bulletin Climatique Mensuel Martinique février 2011. Available at <http://www.meteo.gp/alaune/bcm/archives/201102bcmmart.pdf>.
- Anon. 2011c. Bulletin Climatique Mensuel Martinique mars 2011. Available at <http://www.meteo.gp/alaune/bcm/archives/201103bcmmart.pdf>.
- Anon. 2011d. Bulletin Climatique Mensuel Martinique avril 2011. Available at <http://www.meteo.gp/alaune/bcm/archives/201104bcmmart.pdf>.
- Anon. 2012a. Bulletin Climatique Annuel Martinique 2011. Available at http://www.meteo.fr/temps/dontom/antilles/pack-public/alaune/bca_2011_martinique.pdf.
- Anon. 2012b. Bulletin Climatique Mensuel Martinique février 2012. Available at <http://www.meteo.gp/alaune/bcm/archives/201202bcmmart.pdf>.
- Anon. 2012c. Bulletin Climatique Mensuel Martinique mars 2012. Available at <http://www.meteo.gp/alaune/bcm/archives/201203bcmmart.pdf>.
- Anon. 2012d. Bulletin Climatique Mensuel Martinique janvier 2012. Available at <http://www.meteo.gp/alaune/bcm/archives/201201bcmmart.pdf>.
- Anon. 2012e. Bulletin Climatique Mensuel Martinique avril 2012. Available at <http://www.meteo.gp/alaune/bcm/archives/201204bcmmart.pdf>.
- Babcock, J.M., C.B. Gerwick, J.X. Huang, M.R. Loso, G. Nakamura, S.P. Nolting, R.B. Rogers, T.C. Sparks, J. Thomas, G.B. Watson, and Y. Zhu. 2011. Biological characterization of sulfoxaflor, a novel insecticide. *Pest Management Science* 67(3): 328–334.
- Bernays, E.A. 1999. When host choice is a problem for a generalist herbivore: experiments with the whitefly, *Bemisia tabaci*. *Ecological Entomology* 24(3): 260–267.
- Bleeker, P.M., P.J. Diernaarde, K. Ament, J. Guerra, M. Weidner, S. Schütz, M.T.J. de Both, M.A. Haring, and R.C. Schuurink. 2009. The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. *Plant Physiology* 151(2): 925–935.
- Bolker, B. 2008. *Ecological Models and Data in R*. Princeton University Press.

- Bomford, M.K. 2009. Do Tomatoes Love Basil but Hate Brussels Sprouts? Competition and Land-Use Efficiency of Popularly Recommended and Discouraged Crop Mixtures in Biointensive Agriculture Systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 33(4): 396–417.
- Bruce, T.J.A., L.J. Wadhams, and C.M. Woodcock. 2005. Insect host location: a volatile situation. *Trends in Plant Science* 10(6): 269–274.
- Byrne, D.N. 1999. Migration and dispersal by the sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci*. *Agricultural and Forest Meteorology* 97(4): 309–316.
- Castillo, R.A.M., and V.P. González. 1999. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 33: 23–32.
- Castle, S.J., T.J. Henneberry, and N.C. Toscano. 1996. Suppression of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) infestations in cantaloupe and cotton with sprinkler irrigation. *Crop Protection* 15(7): 657–663.
- Chang, X., P.G. Alderson, T.A. Hollowood, L. Hewson, and C.J. Wright. 2007. Flavour and aroma of fresh basil are affected by temperature. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(7): 1381–1385.
- Chang, X., P.G. Alderson, and C.J. Wright. 2008. Solar irradiance level alters the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its content of volatile oils. *Environmental and Experimental Botany* 63(1-3): 216–223.
- Chu, C.-C., P.J. Pinter, T.J. Henneberry, K. Umeda, E.T. Natwick, Y.-A. Wei, V.R. Reddy, and M. Shrepatis. 2000. Use of CC Traps with Different Trap Base Colors for Silverleaf Whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae), Thrips (Thysanoptera: Thripidae), and Leafhoppers (Homoptera: Cicadellidae). *Journal of Economic Entomology* 93(4): 1329–1337.
- Collard, M. 2009. Tableau de compagnonnage des légumes dans votre potager. Available at <http://www.jardinpotager.com/compagnonnage.htm> (verified 7 March 2012).
- Cuthil, I. 2010. *Essential Statistics (for R users)*.
- Degras, L. 2005. *Le jardin créole. Repères culturels, scientifiques et techniques*. Editions Jasor. Archipel des Sciences., Bonchamp-Lès-Laval, France.
- Ducrettet. Graineterie : fournisseur de graines potageres et graines de fleurs, vente de semences. Available at <http://www.ducrettet.com/> (verified 19 June 2012).
- Ellsworth, P., and Martinez-Carrillo, J-L. 2001. IPM for *Bemisia tabaci*: a case study from North America. *Crop Protection* 20(9): 853–869.
- Evans, G. 2007. The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of the world and their host plants and natural enemies. The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of the world and their host plants and natural enemies.
- fao.org. faostat. Available at <http://faostat.fao.org/> (verified 19 June 2012).
- Fereres, A. 2000. Barrier crops as a cultural control measure of non-persistently transmitted aphid-borne viruses. *Virus Research* 71(1–2): 221–231.
- Finch, S., H. Billiald, and R.H. Collier. 2003. Companion planting – do aromatic plants disrupt host - plant finding by the cabbage root fly and the onion fly more effectively than non - aromatic plants? *Entomologia Experimentalis et Applicata* 109(3): 183–195.

- Finch, S., and R.H. Collier. 2000. Host-plant selection by insects - A theory based on “appropriate/inappropriate landings” by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 96(2): 91–102.
- Fraval, A., E. Fèvre, R. Coutin, C. Minost, and V. Laporte. <I>*Bemisia tabaci*</I> (Gennadius). Available at <http://www.inra.fr/hyppz/RAVAGEUR/3bemtab.htm> (verified 20 March 2012).
- Gerbeaud.com. Plantes compagnes : les bonnes associations au jardin. Gerbeaud.com Available at http://www.gerbeaud.com/jardin/jardinage_naturel/plantes-compagnes.php (verified 7 March 2012).
- Gerling, D., Ò. Alomar, and J. Arnò. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. *Crop Protection* 20(9): 779–799.
- Gorman, K., R. Slater, J.D. Blande, A. Clarke, J. Wren, A. McCaffery, and I. Denholm. 2010. Cross-resistance relationships between neonicotinoids and pymetrozine in *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Pest Management Science* 66(11): 1186–1190.
- Grayer, R.J., M.R. Eckert, A. Lever, N.C. Veitch, G.C. Kite, and A.J. Paton. 2010. Distribution of exudate flavonoids in the genus *Plectranthus*. *Biochemical Systematics and Ecology* 38(3): 335–341.
- Hilje, L., H.S. Costa, and P.A. Stansly. 2001. Cultural practices for managing *Bemisia tabaci* and associated viral diseases. *Crop Protection* 20(9): 801–812.
- Hilje, L., and P. Stansly. 2008. Living ground covers for management of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and tomato yellow mottle virus (ToYMoV) in Costa Rica. *Crop Protection* 27: 10–16.
- homejardin.com. compagnonnage - toutes les méthodes. Available at http://www.homejardin.com/coup_de_pouce_compagnonnage/aide_conseil_assistance_explications.html (verified 20 March 2012).
- Isaacs, R., M.A. Willis, and D.N. Byrne. 1999. Modulation of whitefly take - off and flight orientation by wind speed and visual cues. *Physiological Entomology* 24(4): 311–318.
- IUCN Species Survival Commission’s Invasive Species Specialist Group. Global Invasive Species Database. Available at <http://www.issg.org/database/species/search.asp?st=100ss&fr=1&str=&lang=EN> (verified 20 March 2012).
- Khare, R.S., S. Banerjee, and K. Kundu. 2011. *Coleus aromaticus* Benth – a nutritive medicinal plant with potential therapeutic value : A Review. *International Journal of Pharma and Bio Sciences* 2(3): 488–500.
- Kim, S., and U.T. Lim. 2011. Evaluation of a modified sticky card to attract *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and a behavioural study on their visual response. *Crop Protection* 30(4): 508–511.
- Klimánková, E., K. Holadová, J. Hajšlová, T. Čajka, J. Poustka, and M. Koudela. 2008. Aroma profiles of five basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars grown under conventional and organic conditions. *Food Chemistry* 107(1): 464–472.
- lesbeauxjardins.com. Le compagnonnage des légumes. Available at <http://www.lesbeauxjardins.com/jardinons/potager/apcompagnon.htm> (verified 20 March 2012).
- Liu, T.-X., and P.A. Stansly. 1995. Oviposition by *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on Tomato: Effects of Leaf Factors and Insecticide Residues. *Journal of Economic Entomology* 88(4): 992–997.

- Loughrin, J.H., and M.J. Kasperbauer. 2003. Aroma content of fresh basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves is affected by light reflected from colored mulches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(8): 2272–2276.
- Méléard, S. 2011. Modèles aléatoires en Ecologie et Evolution.
- Momperousse, R.J. 2011. Evaluation de l'impact des plantes aromatiques, basilic (*Occimum basilicum*) et gwo diten (*Plectranthus amboinicus*) associées à la tomate (*Lycopersicon esculentum*) sur les populations de ravageurs (*Bemissia tabaci* et *Helicoverpa zea*) et sur le développement de la tomate.
- Moriones, E., and J. Navas-Castillo. 2000. Tomato yellow leaf curl virus, an emerging virus complex causing epidemics worldwide. *Virus Research* 71(1–2): 123–134.
- Mound, L.A. 1962. Studies on the Olfaction and Colour Sensitivity of *Bemisia Tabaci* (genn.) (homoptera, Aleyrodidae). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 5(2): 99–104.
- Muñiz, M., and G. Nombela. 2001. Differential Variation in Development of the B- and Q-Biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on Sweet Pepper at Constant Temperatures. *Environmental Entomology* 30(4): 720–727.
- Naranjo, S.E., and P.C. Ellsworth. 2005. Mortality dynamics and population regulation in *Bemisia tabaci*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 116(2): 93–108.
- O'Hara, R.B., and D.J. Kotze. 2010. Do not log-transform count data. *Methods in Ecology and Evolution* 1(2): 118–122.
- Olca Arabaci, and E. Bayram. 2004. The Effect of Nitrogen Fertilization and Different Plant Densities on Some Agronomic and Technologic Characteristic of *Ocimum basilicum* L. (Basil).
- Oliveira, M.R.V., T.J. Henneberry, and P. Anderson. 2001. History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* 20(9): 709–723.
- Oriani, M.A. de G., and J.D. Vendramim. 2010. Influence of trichomes on attractiveness and ovipositional preference of *Bemisia tabaci* (Genn.) B biotype (Hemiptera: Aleyrodidae) on tomato genotypes. *Neotropical Entomology* 39(6): 1002–1007.
- Palumbo, J.C., A.R. Horowitz, and N. Prabhaker. 2001. Insecticidal control and resistance management for *Bemisia tabaci*. *Crop Protection* 20(9): 739–765.
- Prudent, D., F. Perineau, J.M. Bessiere, G.M. Michel, and J.C. Baccou. 1995. Analysis of the Essential Oil of Wild Oregano from Martinique (*Coleus aromaticus* Benth.)—Evaluation of Its Bacteriostatic and Fungistatic Properties. *Journal of Essential Oil Research* 7(2): 165–173.
- Qiu, B.-L., S.-X. REN, Mandour, N.S., and L. LIN. 2003. Effect of Temperature on the Development and Reproduction of *Bemisia Tabaci* B Biotype (homoptera: Aleyrodidae). *Insect Science* 10(1): 43–49.
- Root, R.B. 1973. Organization of a Plant-Arthropod Association in Simple and Diverse Habitats: The Fauna of Collards (*Brassica Oleracea*). *Ecological Monographs* 43(1): 95–124.
- Russel, E.P. 1989. Enemies Hypothesis: A Review of the Effect of Vegetational Diversity on Predatory Insects and Parasitoids. *Environmental Entomology* 18(4): 590–599.
- Ryckewaert, P. 1998a. Guide de reconnaissance des insectes et acariens des cultures maraîchères des Petites Antilles. CIRAD-FLHOR Martinique. CIRAD-FLHOR Martinique.

- Ryckewaert, P. 1998b. Caractérisation des aleurodes du genre *Bemisia* (Homoptera:Aleyrodidae) dans les petites Antilles et intérêt de leurs auxiliaires en lutte biologique.
- Ryckewaert, P., and C. Alauzet. 2002. The natural enemies of *Bemisia argentifolii* in Martinique. *BioControl* 47(1): 115–126.
- Salas, J., and O. Mendoza. 1995. Biology of the Sweetpotato Whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on Tomato. *The Florida Entomologist* 78(1): 154–160.
- Saleh, S.M.M., L.A.H. Al-Shareef, and R.A.A. Al-Zahrany. 2010. Effect of geomagnetic field on whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius) flight to the cardinal and halfway directions and their attraction to different colors in Jeddah of Saudi Arabia.
- Schippmann, U., D. Leaman, and A.B. Cunningham. 2006. A comparison of cultivation and wild collection of medicinal and aromatic plants under sustainability aspects. *Frontis* 17(0): 75–95.
- Shelton, A.M., and F.R. Badenes-Perez. 2006. Concepts and applications of trap cropping in pest management.
- Song, B.Z., H.Y. Wu, Y. Kong, Zhang J., Y.L. Du, J.H. Hu, and Y.C. Yao. 2010. Effects of intercropping with aromatic plants on the diversity and structure of an arthropod community in a pear orchard. *biocontrol* 55(6): 741–751.
- Spichiger, R.-E., vincent savolainen, muriel figeat, and daniel jeanmonod. 2009. Botanique systématique des plantes à fleurs: une approche phylogénétique nouvelle des angiospermes des régions tempérées et tropicales. Presses polytechniques et universitaires romandes. PPUR presses polytechniques, Lausanne, Suisse.
- Stoll, G. 2002. Protection naturelle des végétaux en zones tropicales : vers une dynamique de l'information.
- Szendrei, Z., and C. Rodriguez-Saona. 2010. A meta-analysis of insect pest behavioral manipulation with plant volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 134(3): 201–210.
- Togni, P.H.B., R.A. Laumann, M.A. Medeiros, and E.R. Sujii. 2010. Odour masking of tomato volatiles by coriander volatiles in host plant selection of *Bemisia tabaci* biotype B. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 136(2): 164–173.
- Tsai, J.H., and K. Wang. 1996. Development and Reproduction of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on Five Host Plants. *Environmental Entomology* 25(4): 810–816.
- Vandermeer, J.H. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.
- Wang, K., and J.H. Tsai. 1996. Temperature Effect on Development and Reproduction of Silverleaf Whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Annals of the Entomological Society of America* 89(3): 375–384.
- Xienqui, Y. 2000. Effect of Intercropping on Tomato Yellow Leaf Curl Virus Incidence.
- Xu, J., P. j. De Barro, and S. s. Liu. 2010. Reproductive Incompatibility Among Genetic Groups of *Bemisia Tabaci* Supports the Proposition That the Whitefly Is a Cryptic Species Complex. *Bulletin of Entomological Research* 100(03): 359–366.
- Yang, T.-C., and H. Chi. 2006. Life Tables and Development of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) at Different Temperatures. *J. Econ. Entomol.* 99(3): 691–698.
- Zheljaskov, V.D., A. Callahan, and C.L. Cantrell. 2007. Yield and Oil Composition of 38 Basil (*Ocimum basilicum* L.) Accessions Grown in Mississippi. *J. Agric. Food Chem.* 56(1): 241–245.

Annexe 1 : Retour sur les méthodes statistiques

1. Retour sur l'hypothèse d'indépendance des données des populations de *B. tabaci* sur tomate en fonction de la plante aromatique associée et de la distance à la bande aromatique

Les températures moyennes mesurées par Météo-France en Martinique en mars et avril 2012 étaient comprises entre 21°C et 27°C (Anon., 2012b; c). On suppose que les durées de développement de *B. tabaci* sont similaires à celles observées par Yang et Chi (2006) sur tomates entre 20°C et 28°C : 5 à 13 jours pour le stade œuf, 14 à 26 jours pour le stade larvaire.

Comme seules les larves sont prises en compte, comme les parcelles sont échantillonnées toutes les deux semaines, on considère les mesures effectuées à différentes dates comme indépendantes. En fait la première mesure ayant été décalée de deux jours, il n'y a pas toujours eu deux semaines entre deux échantillonnages, on considère néanmoins toujours les mesures effectuées à différentes dates comme indépendantes.

Comme deux rangées échantillonnées sont toujours séparées au moins par une rangée non échantillonnée et par 80 cm on suppose que des mesures effectuées sur des rangées différentes sont indépendantes.

2. Retour sur le choix du type d'analyse pour les données des populations de *B. tabaci* sur tomate en fonction de la plante aromatique associée et de la distance à la bande aromatique (données de plein champ)

Habituellement, en présence de telles données de comptage, on fait l'hypothèse que ces observations sont autant de réalisations d'une variable aléatoire de loi de Poisson, conditionnée à des variables explicatives. En effet, une loi de Poisson permet de dénombrer le nombre d'occurrences sur une période temporelle fixée d'un phénomène dont la probabilité d'occurrence est constante et donc indépendante de ce qui s'est produit antérieurement (Méléard, 2011). C'est notamment la loi la plus adaptée pour modéliser le nombre de femelles *Bemisia tabaci* posées sur une feuille à un moment donné. Néanmoins, étant donné la fertilité d'une femelle, une fois que la femelle s'est posée et si la plante hôte lui plaît, elle peut pondre à elle seule plus d'une centaine d'œufs. On ne peut donc pas vraiment considérer la ponte d'œufs de *Bemisia* comme des phénomènes de probabilité constante, et on peut s'attendre à ce que l'utilisation d'un modèle de poisson pose un problème.

On a tenté d'ajuster au jeu de données un modèle linéaire généralisé poissonnien faisant intervenir la date, le bloc, la nature de l'association, la distance à la bordure conditionnellement à la nature de l'association, ainsi que toutes les interactions entre ces facteurs. On notera ce modèle « modèle poissonnien complet ». Les résidus semblent respecter l'hypothèse d'homoscédasticité (voir figure 8.a). Le paramètre de surdispersion de ce modèle est estimé à 5.2 (calcul conseillé par Allain and Brenac, 2001). Pour tenir compte de cette surdispersion, on a utilisé un modèle de quasipoisson. Les résidus semblent encore respecter l'hypothèse d'homoscédasticité (voir figure 8.b).

3. Retour sur le choix du type d'analyse pour les données du test d'attractivité en serre (données en milieu protégé)

Si on essaie d'ajuster un modèle linéaire aux données, les résidus ne sont pas normaux et présentent une hétéroscédasticité (voir figure 8.c). Des tests non paramétriques ont donc été privilégiés.

Figure 8.a, données de plein champ, modèle de poisson complet

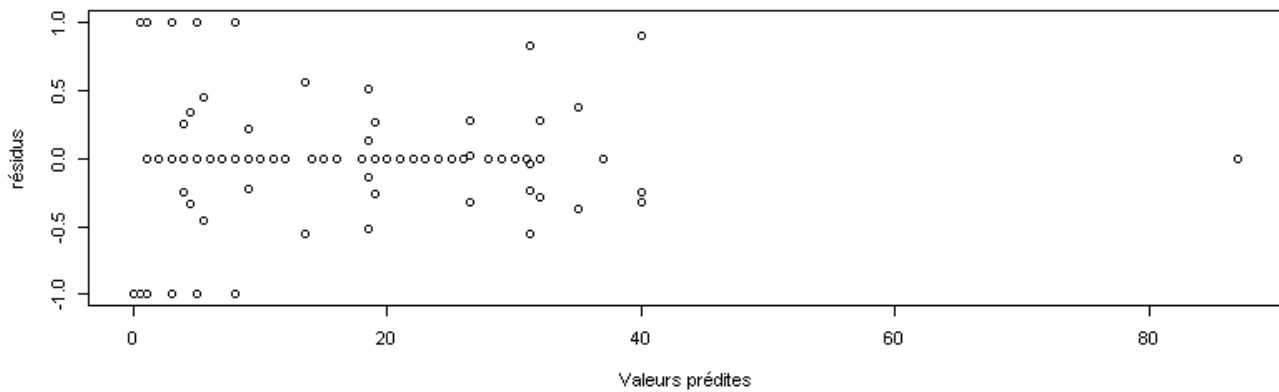


Figure 8.b, données de plein champ, modèle de quasipoisson complet

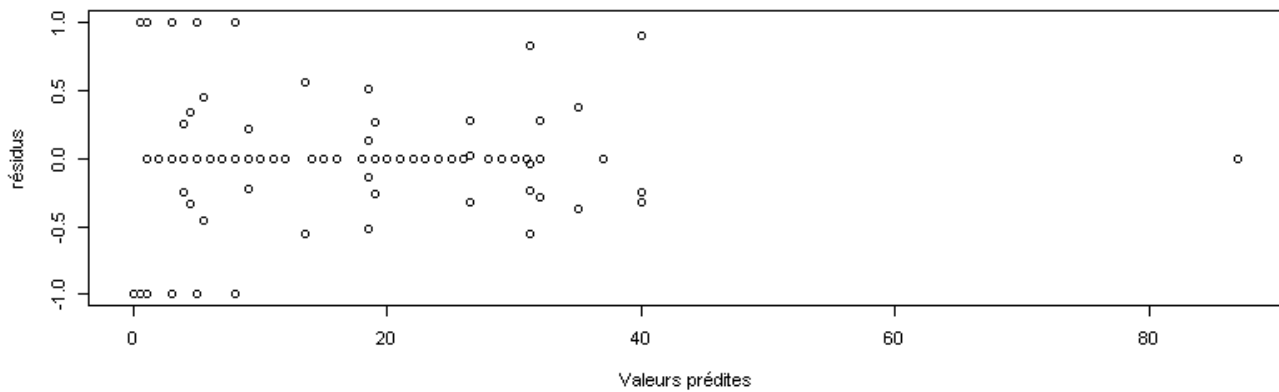


Figure 8.c, données en milieu contrôlé, modèle linéaire

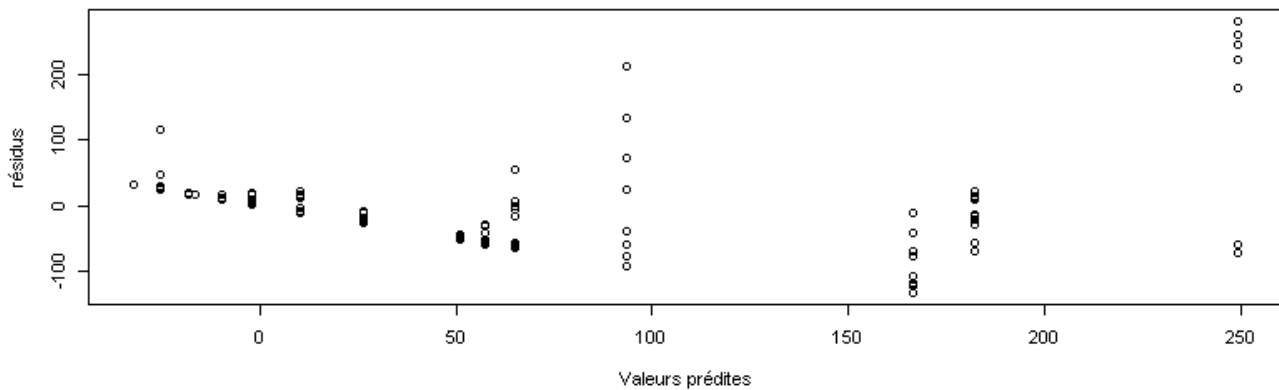


Figure 9 : Vérification de l'homoscédasticité des résidus des modèles de poisson (figure 8.a) et de quasi-poisson (figure 8.b) pour les données des populations de *B. tabaci* sur tomate en fonction de la plante aromatique associée et de la distance à la bande aromatique, vérification de l'hétéroscédasticité des résidus du modèle linéaire pour les données du test d'attractivité en serre (figure 8.c). Pour chaque modèle, les résidus sont tracés en fonction des valeurs prédites.

Annexe 2 :

Sorties du logiciel R pour les principaux tests effectués sur les modèles linéaires généralisés utilisés

```
> anova(modèledequasipoissoncomplet,test='F')
Analysis of Deviance Table

Model: quasipoisson, link: log

Response: tot

Terms added sequentially (first to last)
```

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	F	Pr(>F)
NULL			143	2359.95		
date	2	673.58	141	1686.37	64.5731	1.349e-11 ***
bloc	2	901.52	139	784.85	86.4252	3.541e-13 ***
ta	4	88.61	135	696.24	4.2474	0.007666 **
date:bloc	3	85.92	132	610.32	5.4909	0.003960 **
date:ta	8	58.25	124	552.07	1.3961	0.238385
bloc:ta	8	43.65	116	508.41	1.0462	0.425041
ta:distance	10	56.58	106	451.83	1.0848	0.403945
date:bloc:ta	10	10.58	96	441.26	0.2028	0.994413
date:ta:distance	20	183.45	76	257.80	1.7587	0.078781 .
bloc:ta:distance	20	53.97	56	203.83	0.5174	0.936218
date:bloc:ta:distance	26	39.29	30	164.54	0.2898	0.999014

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Figure 10 : Réponse du logiciel pour l'analyse de la déviance du modèle de quasi-poisson complet. « ta » est un code pour « espèce ou cultivar associé ».

```
> anova(modèledequasipoissonsimplifié,test='F')
Analysis of Deviance Table

Model: quasipoisson, link: log

Response: tot

Terms added sequentially (first to last)
```

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	F	Pr(>F)
NULL			143	2359.95		
date	2	673.58	141	1686.37	64.5493	< 2.2e-16 ***
bloc	2	901.52	139	784.85	86.3932	< 2.2e-16 ***
ta	4	88.61	135	696.24	4.2458	0.002893 **
date:bloc	3	85.92	132	610.32	5.4889	0.001385 **

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Figure 11 : Réponse du logiciel pour l'analyse de la déviance du modèle de quasi-poisson simplifié. « ta » est un code pour « espèce ou cultivar associé ».

```
> summary(modèledequasipoissonsimplifié)

Call:
glm(formula = tot ~ date * bloc + ta, family = quasipoisson,
    data = S)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.6605  -1.3179  -0.4555   0.2856   6.6877

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      2.00700    0.21734    9.234 5.69e-16 ***
date2             1.47862    0.23269    6.354 3.13e-09 ***
date3            18.42024  1112.56342    0.017 0.986815
bloc2            -2.15948    0.62287   -3.467 0.000711 ***
bloc3           -18.24435  1112.56342   -0.016 0.986941
ta : basilic anis  -0.30180    0.18110   -1.666 0.097986 .
ta : basilic citron  0.04522    0.19917    0.227 0.820737
ta : basilic cannelle -0.45919    0.19265   -2.384 0.018570 *
ta : gros-thym      0.34081    0.18057    1.887 0.061297 .
date2:bloc2         1.35459    0.64996    2.084 0.039077 *
date3:bloc2        -14.95659  1112.56358   -0.013 0.989294
date2:bloc3         14.78857  1112.56356    0.013 0.989415
date3:bloc3          NA         NA         NA         NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for quasipoisson family taken to be 5.217546)

Null deviance: 2359.95  on 143  degrees of freedom
Residual deviance:  610.32  on 132  degrees of freedom
AIC: NA

Number of Fisher Scoring iterations: 14
```

Figure 12 : Réponse du logiciel pour l'estimation des paramètres du modèle de quasi-poisson simplifié. « ta » est un code pour « espèce ou cultivar associé ».

Annexe 3 : Données climatiques

	Janvier	Février	Mars	Avril
Année 2011, Sainte-Anne	Entre 60 et 80 mm	Moins de 30 mm	99 mm	Entre 300 mm et 350 mm
Année 2012, Carbet ou Saint-Pierre (à 5 km du Carbet)	71 mm	82 mm	99 mm	99 mm

Tableau 3 : Pluviométrie mensuelle à proximité des sites d'expérimentation dans les mois qui ont précédé l'expérimentation ainsi que pendant l'expérimentation (Anon., 2011aa; b; c; d, 2012c; d; e)

	Janvier	Février	Mars	Avril
Année 2011, Sainte-Anne	65 km/h	68 km/h	54 km/h	58 km/h
Année 2012, Carbet ou Saint-Pierre (à 5 km du Carbet)	79 km/h	69 km/h	78 km/h	57 km/h

Tableau 4 : Vitesse maximale du vent à proximité des sites d'expérimentation dans les mois qui ont précédé l'expérimentation ainsi que pendant l'expérimentation (Anon., 2011aa; b; c; d, 2012c; d; e)